

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

قوزار التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénierat
Département d'Hydraulique

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Technique

Filière : Hydraulique

Option : Ressources Hydrauliques

THEME

**Application de deux méthodes de détermination du débit
d'étiage caractéristiques Q347 pour le bassin versant Oued
Melah Bouchegouf**

Présenté par :

Mamour Besma
Abbaci Bouteina

Dirigé par :

Pr : AMARCHI Hocine

Devant le jury de soutenance

Président: Pr AMARCHI Hocine
Encadreur : Pr AMARCHI Hocine
Examineur : MCA BENABDESSALEM Tamara
Examineur : MCB LATIFI Sabah
Examineur : MAA ALLAOUA Abdellah

U - Badji Mokhtar Annaba
U - Badji Mokhtar Annaba
U - Badji Mokhtar –Annaba
U - Badji Mokhtar –Annaba
U - Badji Mokhtar –Annaba

Promotion : Juin 2019

Dédicace

Je dédie ce modeste travail a :

- ❖ Mon cher père « rachid» pour l'intérêt qu'il m'a accordé et pour les précieux conseils qu'il m'a donnés pendant les moments difficiles.*
- ❖ A ma très chère mère « zahia» pour sa tendresse, son amour, ses sacrifices et son encouragement durant toute ma vie pour que je puisse réussir que dieu me la garde.*
- ❖ A mes chères sœurs : bilal, nadia*
- ❖ A Ma chère amie: marwa*
- ❖ A mon binôme : bessma*
- ❖ A mes meilleurs amies : imen, roumaysa*

Abbaci bouteina

Dédicace

Je dédie ce modeste travail a :

- ❖ *Mon cher père « Mabrouk » pour l'intérêt qu'il m'a accordé et pour les précieux conseils qu'il m'a donnés pendant les moments difficiles.*
- ❖ *A ma très chère mère « Fatiha » pour sa tendresse, son amour, ses sacrifices et son encouragement durant toute ma vie pour que je puisse réussir que dieu me la garde.*
- ❖ *A mes chères sœurs : Sabrina, Amina,*
- ❖ *A Mon cher amie: Saadi Amine*
- ❖ *A mon binôme : Bouteina.*
- ❖ *A mes meilleurs amies : Nour, Samia, Lina,
Imen*

MAMOUR BESMA

Remerciements

*Je remercie avant tout ALLAH de m'avoir aidé...
Je voudrais tout d'abord exprimer mes plus sincères
remerciements à mon encadreur : Mr. AMARCHI
HOUCIN, Il a fait preuve d'une grande disponibilité,
m'a fourni un soutien constant et une aide précieuse.
Je tiens également à remercier les membres du jury
d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

Résumé

La région de Bouchegouf possède un climat de type méditerranéen, caractérisée par deux saisons bien distinctes une saison sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois d'octobre avec des températures élevés particulièrement en juillet et Aout et une saison humide allant d'octobre jusqu'à Mai.

Cette étude a permis d'évaluer le faible débit,(le débit d'étiage) dans le bassin versant oued Mellah a partir de deux méthodes :méthode du débit classé et méthode de régression.

Les mots clé :

Bassin versant, débit d'étiage, régression, débit classé.

تتمتع منطقة بوشقوف بمناخ البحر الأبيض المتوسط الذي يتميز بفصلين متميزين ، موسم الجفاف من مايو إلى أكتوبر مع ارتفاع درجات الحرارة خاصة في شهري يوليو وأغسطس وموسم رطب من أكتوبر إلى أكتوبر. الى مايو.

قيمت هذه الدراسة معدل التدفق المنخفض (انخفاض تدفق المياه) في مستجمعات المياه في وادي ملاح باستخدام طريقتين: طريقة التدفق المتدرج وطريقة الانحدار.

الكلمات الرئيسية:

مستجمعات المياه ، وتدفق منخفض ، والانحدار ، وتدرج متدرج

Abstract

Abstract

The Bouchegouf region enjoys a Mediterranean climate characterized by two distinct seasons, the dry season from May to October with high temperatures especially in July and August and a wet season from October to October. To May.

This study evaluated the low flow rate (low flow of water) in the watershed in Wadi Mallah using two methods: the gradient flow method and the regression method.

the main words:

Watershed, low flow, gradient, gradient gradient

SOMMAIRE :

I-Dédicace.....
II-Remerciements.....
III-Résumé.....
IV-Abstract.....
V-Sommaire.....
VI-Liste des figures.....
VII-Liste des tableaux.....
VIII-Introduction
IX-générale.....	1

Chapitre 1. Présentation du Secteur d'étude

I- Présentation de la Zone d'étude.....	2
I-1- Situation Géographique	2
I-2 RESEAU HYDROGRAPHIQUE	4
II- Géologique du bassin versant de l'oued.....	6
I-1- La lithologie	6
I-2-Analyse stratigraphiques et tectoniques	7
I-2-1-La stratigraphie	8
I-2-2-la tectonique	8
I-2-3-Type de Sols	10
III- Morphologie du bassin versant.....	11
I-1- Introduction.....	11
I-2- Caractéristiques physiques du bassin.....	11
I-3-CARECTERSTIQUES	
MORPHOMETRIQUES	12
I-3-1- forme équivalente du Bassin Melah.....	12
I-3-2- Rectangle équivalent.....	13
I-3-3-l'altitude moyenne.....	15
I-3-4-relief et courbe hypsométrique du bassin versant.....	15

I-3-5 : Indices de pentes.....	18
I -3-5-1 : Indice de pente global.....	18
I-3-5-2 Indice de pente moyenne.....	19
I-3-5-3 Dénivelée spécifique.....	19
I-4 Caractéristique Hydrographique.....	20
I-4-1 Densités de Drainage	20
I-4-3 Vitesses de Ruissellent.....	21
I-3-Relief et le climat.....	23

Chapitre 2. Etude Climatique de la Région D'étude

IV- Hydro climatologie.....	24
I – Introduction.....	24.
I-1- Caractéristiques hydrologiques.....	24
I-1-1. Le climat.....	24
I-1-2- La température.....	25
I-1-3-La précipitations.....	25
I-2- Le bilan hydrique.....	25
I-2-1- Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	26
I-2-2- Estimation de l'évapotranspiration potentielle ETP....	26
I-Méthode du bilan d'eau de C.W Thornthwaite.....	27
I-2-3 Interprétation du bilan d'eau de C.W. Thorntwaite pour la station de Bouchegouf	28
I-2-4-Estimation du ruissellement.....	29
I-2-5 Estimation de l'infiltration.....	29
I-3- Les vents.....	30
I-4-LE COUVERT VAGETAL.....	30
I-4-1 le domaine forestier.....	31

I-4-1-1 Le couvert forestier	31
I-4-1-2 le maquis.....	31
I-4-3 Les terrains de parcours.....	31
I-4-2 Le domaine agricole.....	31
I-4-3 Les terrains non occupés.....	31
Conclusion de la première partie.....	32

Chapitre 3. Analyse Bibliographique

I-Définition et variables des débits D'Etiage.....	33
I-1 -Les deux variables les plus demandées sont les suivantes ...	33
I-2-Différentes périodes peuvent être déterminées pour ces variables..	34
I-3-Sens technique.....	34
I-4- Débit mensuel	34
I-5-Débit d'étiage de référence.....	35
II- Régime d'Écoulement.....	35
II-1-On distingue trois types de régimes d'écoulement selon la présence et l'effet des barrages	35
II-2 Données Hydrométriques.....	36
III- Analyse fréquentielle des débits d'étiage.....	36
III-1-Les différentes lois les plus utilisées dans le cadre de l'analyse des étiages	37
III-3- Régionalisation des débits d'étiage Objectifs.....	37
3-1- Les paramètres utilisés pour définir les zones homogènes	37
IV-Méthodes d'estimation des débits d'Etiage.....	38
IV-1- Méthodes Retenues.....	45

1- La régression.....	45
1-1-Principaux modèles de régression.....	46
1-2-Analyse de régression.....	46
1-3-Comment fonctionne une analyse de régression.....	47
1-4-Types d'analyses de régression.....	47
1-5-Etapes.....	48
2 Débits caractéristiques issus de la courbe des débits classés	49
V-LE DÉBIT Q347.....	50
V-1-Introduction.....	50
V-2-Définition du débit Q347.....	51
V-3-Variabilité temporelle et spatiale.....	52
V-4-CARACTÉRISTIQUES DU DÉBIT Q347	53
Régime d'écoulement.....	53
Bases hydrologiques	53
V-5-Processus produisant les débits d'étiage.....	53
V-6-DÉTERMINATION DU DÉBIT Q347.....	53
Généralités.....	53
V-7-Régionalisation du débit Q347.....	54
V-8-Contenu de la carte	55
V-9-Contenu du tableau.....	56
V-10-Utilisation.....	56

Chapitre 4. Résultats et discussions

I- Construction de la courbe des débits classés et estimation de Q_{347}	58
1-Méthode à appliquer : Construction de la courbe des débits classés par la Méthode globale sur une courte période pour le Bassin versant Oued Mellah.	58
1. Démarche et résultats.....	58
II-Estimation de Q_{347} par la méthode des régressions multiples.....	61
1-Méthode à appliquer : Méthode de détermination du Q_{347}	61

LISTE DE FIGURES:

Figure :I-1: carte N°1 situation géographique du bassin versant de l'oued meleh

Figure: I-2: carte N°2 réseau hydrographique du bassin versant de l'oued meleh

Figure: I-3: carte N°3 géologique du bassin versant de l'oued meleh.

Figure: I-4: types des sols du bassin de l'oued Mellah.

Figure: I-5: Cartes hypsométriques des bassins versants de l'oued Mellah.

Figure:I-6:carte de Relief et courbe hypsométrique du bassin de l'oued Mellah

Figure: I-7: Histogramme des fréquences altimétriques.

Figure: I-8: carte des pentes de l'oued mellah.

Figure :V-9: courbe des débits classés (méthode globale) et débits caractéristique d'étiage .

Figure : V-10 : courbe de la régression.

Figure :V-11 : Définition des valeurs du débit résiduel minimal en fonction du Q_{347} .

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I-1 : surface et périmètre de bassin versant d'oued Melah.

Tableau I-2 : Coefficients de compacité des bassins versants.

Tableau I-3 : Répartition par tranches d'altitudes de la superficie (Km) du
Bassin de l'oued Melah.

Tableau I-4: Répartition altimétrique du bassin versant.

Tableau I-5: classification de l'ORSTOM.

Tableau I-6: les caractéristiques morphologiques de bassin versant de l'oued
Melah.

Tableau I-7: Températures moyennes annuelles (station de bouchegouf).

Tableau I-8: précipitation moyennes annuelles à la la station Bouchegouf.

Tableau I-9: résultats de L'ETR obtenus par la formule de TURC.

Tableau I-10: bilan d'eau de C.W Thornthwaite de la station de bouchegouf

Tableau I-11: Estimation de Ruissellement.

Tableau I-12 : Estimation de l'infiltration.

INTRODUCTION

La connaissance des débits d'étiage est fort utile pour évaluer un débit à prélever, pour maintenir un débit minimal ou pour estimer les charges de contaminants qui peuvent être déversées sans compromettre l'intégrité du milieu aquatique et les usages qui y sont liés (vie aquatique, prise d'eau, etc.).

Les dossiers qui requièrent le calcul de débits d'étiage concernent notamment la production hydroélectrique, la gestion des eaux retenues par des barrages dans les lacs et les réservoirs, le détournement de cours d'eau, l'approvisionnement des villes et des industries en eau potable, la fabrication de neige artificielle, l'irrigation (atocatières, bleuetières, terrains de golf, etc.), les piscicultures et le traitement des eaux usées d'origines domestique et industrielle.

Les présentes lignes directrices visent à présenter les notions de base relatives à l'estimation des débits d'étiage et les méthodes couramment utilisées par le Ministère. Elles ont aussi pour but de préciser le cadre dans lequel ces analyses peuvent être réalisées par un professionnel compétent en hydrologie.

L'hydrologue dispose de différentes méthodes d'estimation des débits d'étiage pour réaliser des projets impliquant les ressources en eau. Le présent guide ne prétend pas contenir toutes les méthodes. Il présente celles que le Ministère utilise couramment pour donner des avis techniques ou effectuer des analyses hydrologiques de débits d'étiage.

Une méthode d'estimation des débits d'étiage $Q_{2,7}$, $Q_{10,7}$ et $Q_{5,30}$, même précise, peut fort bien être à l'origine d'estimations erronées si les paramètres régionaux et si les facteurs qui permettent de porter un jugement sur les résultats ne sont pas jumelés à une bonne connaissance du site étudié. Lorsque les analyses sont basées sur des données provenant d'un cours d'eau éloigné des sites étudiés, les estimations peuvent être améliorées par des campagnes de mesures du débit sur les cours d'eau étudiés.

I- Présentation de la Zone d'étude

I -1- Situation Géographique :

Le bassin versant de l'oued Melah se situe à l'Est de la moyenne Seybouse. Il constitue le quatrième sous bassin après ceux des sous bassin Cherf , Bouhamdene et celui de Guelma. Il est en forme de couloir, d'une orientation Sud-ouest Nord-est, et topographiquement irrégulier.

Le bassin versant, de l'Oued Melah fait partie de l'ensemble du grand bassin versant de l'oued Seybouse. Il se dessine entre les altitudes 36° 07' et 23' Nord et longitudes 7° 40' et 8° 04' Est. D'orientation Sud-ouest et Nord-est. Le cours d'eau principal est formé par la réunion des Oueds Medjez Sfa, Oued Chaham et d'Oued Rarem.

Appartenant à L'Atlas Tellien ; ce bassin versant draine une superficie de 550 km² et englobe plusieurs communes telles que celles de :

- Oued chaham et la commune de Hammam N'Bailes,
- Madjez Sfa et la commune de Machrouha,
- Dahoura et le village d'Ain Sandel (commune D'Abdi Mabrouk) .En outre .le bassin d'Oued Melah est limité :
- Au Nord par la daïra de Bouchegouf et au Nord-Ouest par Djbel Nador.
- Au Sud par la daïra de Sedrata et au Sud-Est par la wilaya de Souk Ahras.
- A l'Est par Bouhadjar et à l'Ouest par la commune de Ben Smih

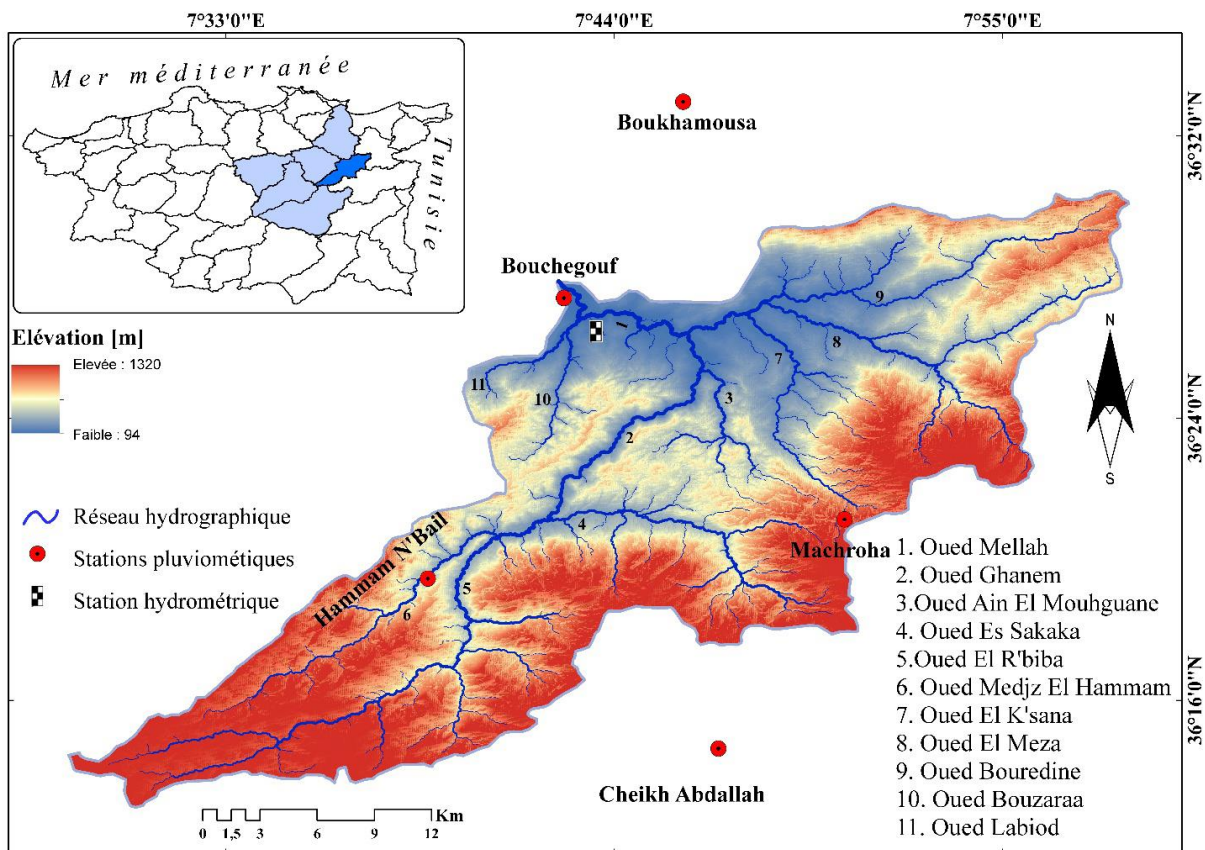


Fig. 01 : Situation Géographique de l'Oued Melah .

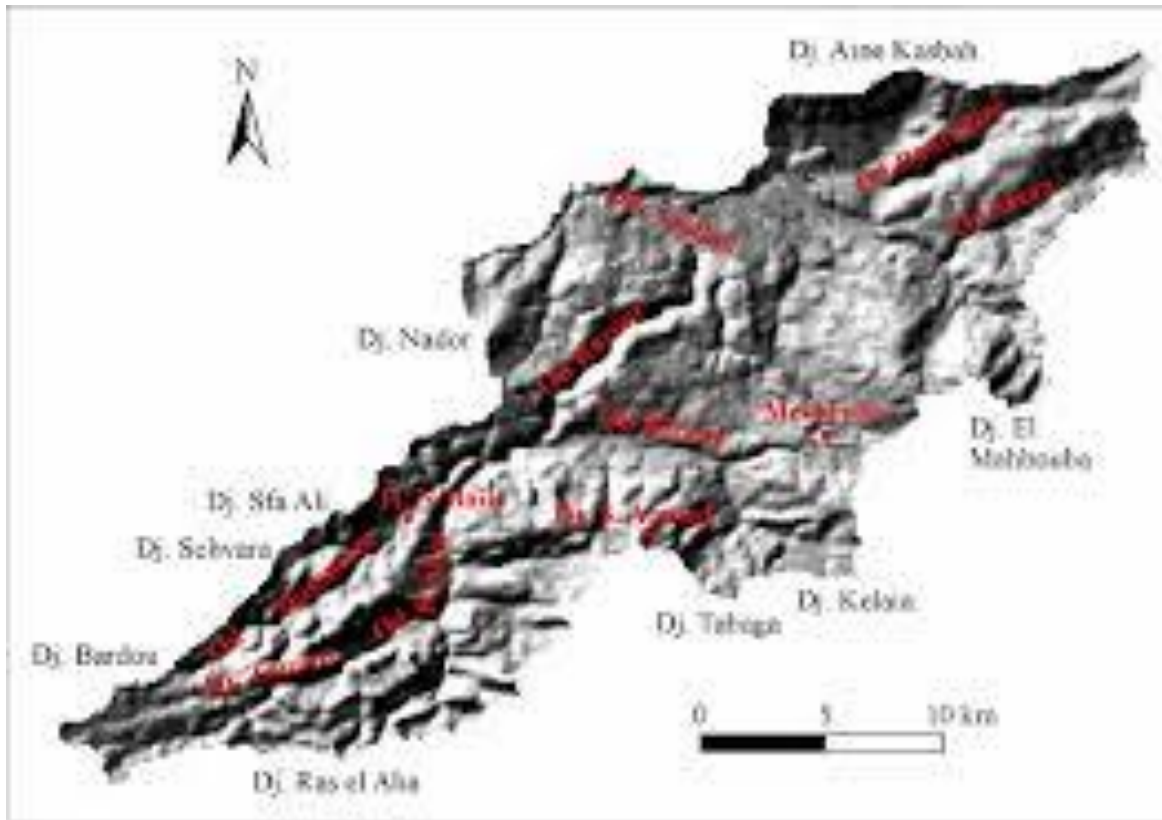


Fig. 2 : réseau hydrographique du bassin versant de l’oued meleh

I-2 RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Le cours principal est formé par la réunion de l’oued Sfa et de l’oued Ranem. Ce dernier et avant d’avoir reçu les eaux de l’oued Rirane, formé à son tour par la réunion de l’oued El hammam, drainant les eaux de la région des oueds dhan, et de l’oued R’biba, dont le cours supérieur prend successivement le nom de l’oued Adjoul ,de l’oued Mlah et de l’oued Zouara.

Ces oueds traversent une région très accidentée, au fond de vallées profondes et aux versants très escarpés. Avant sa confluence avec l’oued Chham, l’oued Ranem appelé oued Melah dans son cours supérieurs, prend la direction Nord- est, Sud-ouest qui lui

a été imposée par le bombement triasique du djebel Nador-N'bails qu'il traverse en gorges très encaissées.

Au Nord-Est, les oueds Bourdine et el Meza forment l'oued Melah en aval.

L'oued Melah prend sa source à 1180 m d'altitude dans le djebel Bardo au Sud-ouest de djebel Zouara, Safiet El-Alouet et Kef Aks, qu'il traverse, suivant une orientation sud-ouest, Nord-est jusqu'à l'oued Rirane (cote 300m), ou il s'encaisse très profondément dans les massifs calcaires.

L'oued principal appelé oued Ranem, dans son cours inférieur, change brusquement de direction, et coule suivant une orientation nord-ouest pour confluer avec Sfa aux environs de Medjez sfa (cote 300m).

Durant tout ce parcours, oued Melah reçoit quelques affluents importants, entre autres : l'oued Zarin, oued Riran, oued Chham, oued El-Hammam et oued Bouzara.

a-Oued Rirane :

Il prend sa source vers 1220m dans Ras El-Kelaia. Il est formé à l'amont par la confluence de l'oued Medjez et oued Rirane ; ces deux derniers prennent leur source aussi à RasEL Kalaia(le premier vers 1220m et le second vers 1210m).

Il suit une direction est-ouest, traversant ainsi djebel El Arous, Kef Tair, safiet El Aouid et djebel El Koutz. Son bassin est caractérisé par un réseau hydrographique de type orthogonal qui est du certainement à la présence d'une faille d'orientation sud-ouest, nord-est, au niveau de la confluence de l'oued Rirane et oued Sekaka.

b-Oued Sfa :

Il prend sa source vers 800m dans Kef Berrouch, il est formé par la confluence des oueds Bourdine et El Meza, le premier prend sa source vers 800m, le second vers 440m dans Kef El Ramoul. L'oued Sfa coule suivant une direction Nord Est et Sud Ouest, et il reçoit sur sa rive droite d'oued El Aouassia.

c- Oued El Hammam :

Cet important affluent se trouve sur la rive gauche de l'oued principal El Melah. Il prend sa source vers 1150m dans djbel El Arous, et coule du sud-ouest vers le nord-est.

d-Oued Bouzarra :

Constitue le dernier affluent de l'oued Melah. Il prend sa source vers 600m dans Djbel Nador, il est formé par la conjonction de deux oueds, oued Zerrah et oued El Abiod, et coule suivant une direction sud-ouest, nord-est.

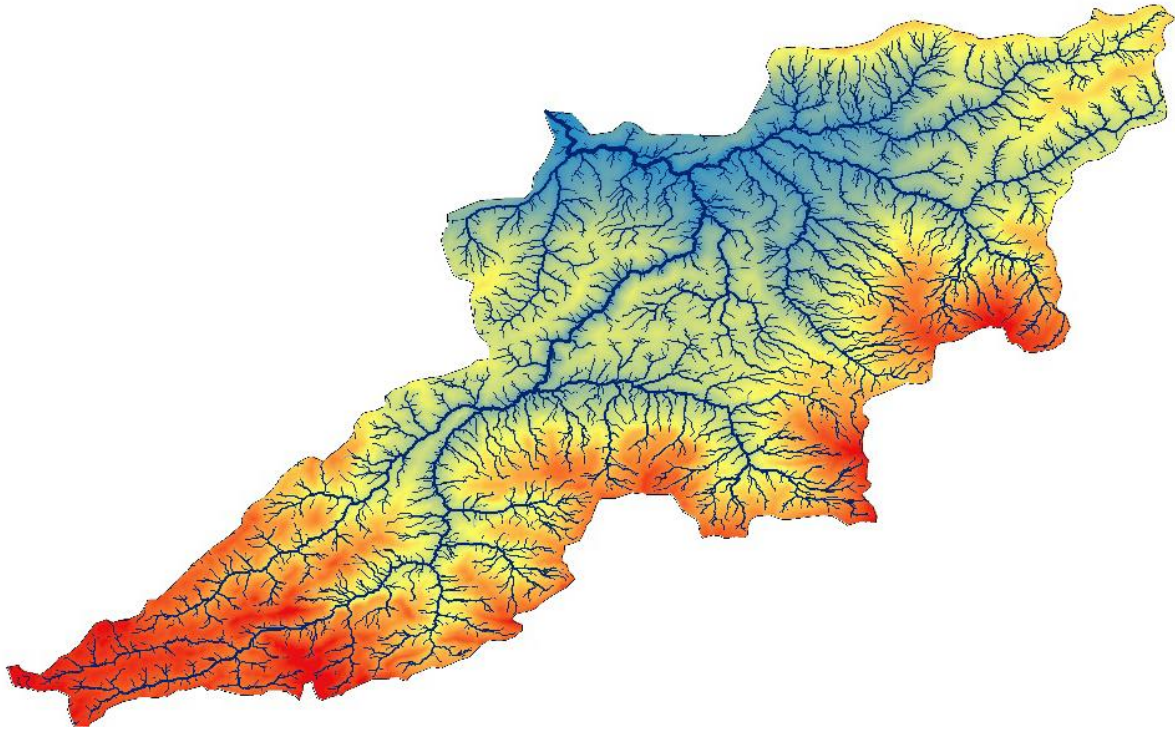


Fig. 02 : Carte N°2 hydrographique de L'Oued Mellah.

II- Géologique du bassin versant de l'oued Melah :

I-1- La lithologie :

Elle est dominée par trois grands ensembles lithologiques qui ne correspondent pas toujours aux zones hydrogéologiques, Au sud, l'oued Rbiba qui devient l'oued Sekaka en aval et l'oued ghirna, drainent des bassins constitués de calcaires hyprésiens et de marnes et marno-calcaires.

Au contact des calcaires et des assises marneuses, une réserve aquifère s'est constituée, comportant un niveau d'émergence à leur base. Ces formations se poursuivent vers l'est de sorte qu'il est probable que les eaux d'infiltration des calcaires hyprésiens du djbel Kebaia.

Ces bancs calcaires sont suffisamment importants et perméables pour assurer une régularisation des niveaux aquifères en débit de leur forte fissuration. Le secteur amont du Melah peut être considéré comme un **château d'eau** de la région. L'oued Rbiba et Ghirane prennent leur source dans cette zone. Les débits pérennes sont estimés respectivement à 300l /s et 150l/s (service hydraulique-Guelma), C'est à partir de ces mêmes formations aquifères que l'oued Medjerda prend sa source.

Au centre, le trais domaine, il est constitué d'argiles et de gypse broyé, il joue un rôle fondamental par son extension et sa forte teneur en sel. On effectue la fréquence de cet élément dans l'incidence sur la qualité des eaux ruissellement et d'infiltration est très néfaste et ne permet pas l'utilisation de l'eau de l'oued Seybouse en saison sèche, au cours de laquelle les besoins sont accrus. la région est peu perméable seule la source Chaabet Oued Cheham à un débit appréciable. Les alluvions des terrasses de Bouchegouf semblent plus argileuses que celles de Guelma.

Elles sont moyennement perméables.

Les colluvions se trouvent surtout au pied des massifs calcaireux et gréseux au même au pied des calcaires marneux. ils sont le résultat de l'altération mécanique des roches au produit sera déplacé vers le bas sous l'effet de la gravitation, mais parfois transporté par des mouvements de masse et le ruissellement de surface.

I-2-Analyse stratigraphiques et tectoniques :

La région d'étude présente de grands plissements d'orientation sud-ouest nord-est avec des zones d'effondrements de la structure synclinale et anticlinale. Ce bassin est constitué essentiellement du Trias, Crétacé, (Turonien à Aptien) et du Miocène. Les calcaires de l'Aptien sont frappés par une tectonique bouleversante due probablement au diapirisme triasique. Les mouvements du miocène ont formé le relief du Tell.

I-2-1-La stratigraphie :

Les formations du Trias forment dans le bassin une série d'affleurement qui comprend des marnes, des argiles, du gypse et des dolomies présentées sous forme de bancs disloqués.

Le crétacé est presque identique dans le bassin versant l'oued melah. Le Crétacé inférieur est marqué par l'Aptien et le Vraconien qui englobent les marnes et les marno-calcaires. Les marnes gréseuses sont d'âge Albien. En outre, les faciès du Cénomaniens appartenant au crétacé supérieur montrent une sédimentation à dominance marneuse.

Le miocène qui caractérise le bassin versant englobe les dépôts de conglomérats et des grès. Le quaternaire est principalement de limons et des éboulis de pente. Les alluvions et les travertins sont plus au moins peu compose dans le bassin.

I-2-2-la tectonique :

Les grands plissements en zones d'effondrement sont des déformations produites à la phase Eocène-Miocène supérieure par le glissement des nappes telliennes (chouabi 1987) Ceci est surtout le résultat d'une tectonique de compression durant la phase alpine, d'une tectonique de distorsion pendant la phase Mio-Pliocène et enfin par le diaprisme du Trias.

CARTE GEOLOGIQUE

I-2-3-Type de Sols :

Le bassin de l'Oued Mellah est constitué par cinq types de sols (figure I-4) : Les sols calcaires présentent la plus grande partie du bassin avec une dominance de 55.20 %. En effet, la répartition importante des roches riches ou contenant des éléments carbonatés a fait dominer cette classe de sol. En seconde classe, les sols podzoliques qui couvrent 23.12 % de la surface. Ils sont concentrés à la partie Nord-est de bassin versant.

Les sols peu évolués avec une dominance des régosols se développant dans les secteurs riches en marnes et calcaires. Les lithosols sont uniquement présents aux Djebels Zouara, Bardou et les reliefs gréseux à l'Est du bassin. Les sols d'apport colluvial à tendance vertique sont observés dans la région des grès numidiens où les argiles, par endroit, sont bien exposées.

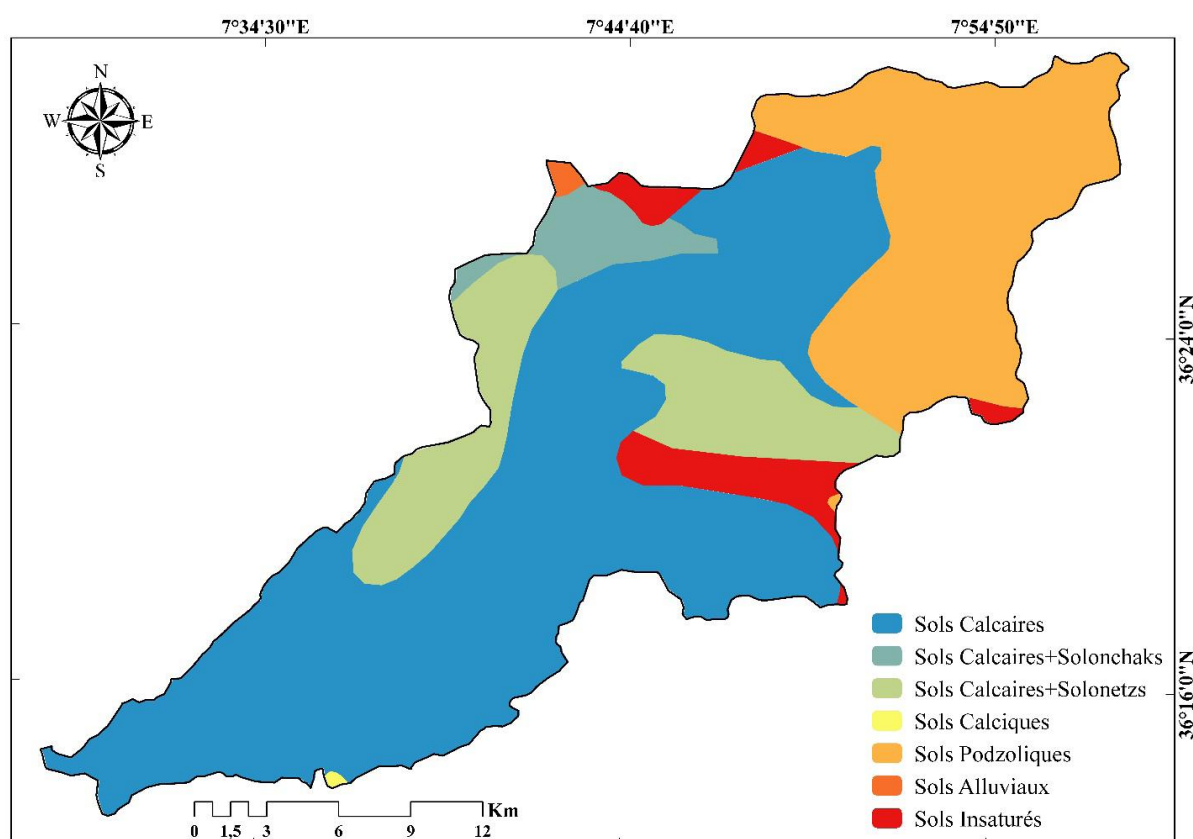


Fig. 04 : types des sols du bassin de l'oued Mellah.

III- Morphologie du bassin versant :

I-1- Introduction :

Le bassin versant fonctionne comme un collecteur de précipitations qui vont se transformer en plusieurs types d'écoulements tout dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morphométriques (forme, relief, altitude, pente, réseau de drainage ect...) et la nature du sol ainsi que la couverture végétale. Les caractéristiques qui interviennent de façon combinée pour expliquer les modalités de l'écoulement, s'approprient à une analyse quantitative.

I-2- Caractéristiques physiques du bassin :

Le bassin versant est un objet complexe dont l'ensemble des caractéristiques (géométriques, géologiques, physiographiques, humains, ect...) joueront un rôle non seulement dans la réponse hydrologique du bassin (régime des écoulements) mais aussi, en amont et pour certaines d'autres (altitude...), directement dans le processus de formation de la pluie. Il faut noter l'existence, à la surface du bassin versant, d'un système longitudinal, le réseau de drainage ou hydrographique, défini comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels.

Permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Ce réseau est plus ou moins développé selon différents facteurs (géologie, climat, pente du terrain, ect...) il ne manque pas dans la littérature scientifique de paramètres quantifiés destinés à mesurer telle ou telle caractéristique des bassins versants. Ces facteurs d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes topographiques ou en recourant à un modèle numérique du terrain.

I-3-CARECTERSTIQUES MORPHOMETRIQUES :

Pour mieux comprendre le comportement hydrologique de bassin versant de l'oued Melah , il est impératif de connaitre ces caractéristique morpho métriques (forme, relief,altitude,pente , densité de drainage) qui expliquent le cycle de transformation des pluies en écoulement et s'apprêtent à une analyse quantifié

-La surface du bassin versant :

La surface à été mesurée par un planimètre, elle est égale à 550 Km² environ.(Tab. 2)

-Le périmètre du bassin versant :

Le périmètre du bassin versant peut être mesuré directement sur la carte topographique au moyen d'un curvimètre. Elle a été estimée à 120 Km

Superficie (Km ²)	Périmètre(Km)
550	120

Tableau 01 : surface et périmètre de bassin versant d'oued Melah.

I-3-1- forme équivalente du Bassin Melah :

La forme du bassin versant influence l'écoulement et l'allure de l'hydrogramme de crue à l'exutoire. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser la forme, et aussi de comparer les bassins versants entre eux. Parmi ces indices celui de Gravelius (1861-1938), proposé en1914 (appelé aussi : coefficient de compacité). Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface. Si le périmètre du bassin est noté P et sa surface S, le coefficient de compacité s'exprime comme suit :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

S=superficie du bassin vessant Km²

P=périmètre du bassin en Km

Il est égal à 1 pour un bassin de forme circulaire et croit à mesure que la déformation s'accroît.

I-3-2- Rectangle équivalent

Mis au point par Roche (1963), le rectangle équivalent permet de comparer deux bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Le contour du bassin devient rectangle de même périmètre dont la longueur et la largeur seront :

Longueur du rectangle équivalent

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

D'où K_c est l'indice de pente de Gravelius, S est la superficie du bassin versant (Km^2).

Largeur du rectangle équivalent

$$l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Bassin	K_c	L (km)	l (km)
Melah	1,8	75,11	9,37

Tableau 2. Coefficients de compacité des bassins versants.

A partir des résultats obtenus de l'indice de compacité de Gravelius (tableau 2.) on conclut que le bassin versant de l'oued Mellah se caractérise par une forme allongée. Les courbes de niveau devant des droites parallèles au petites cotés et l'exécutoire du bassin étant assimilé à l'un de ces petites cotés.

Distance à courbe $1200 = L \times 4,29\% = 2,09 \text{ Km}$

Distance à courbe 1000= L × 20,54%=10 Km

Distance à courbe 800= L × 41,11%=23,91 Km

Distance à courbe 600= L × 77,15%=37,57 Km

Distance à courbe 400= L × 90,72%=44,18 Km

Distance à courbe 200= L × 99,29%=48,35 Km

Distance à courbe 96= L × 100%=48,70 Km

Tranche d'altitude	SI : SUPERFICIE		SUPERFICIE		Altitude Moyenne(m)	Volume montagneux Si × hi
	Partielle		Cumulée	ΣSi		
	Km2	%	Km2	%		
96-200	3	100	3	100	148	444
200- 400	47	99,29	50	100	300	14100
400 -600	75	90,72	125	100	500	37500
600 -800	155	77,15	280	100	700	108500
800 -1000	158	49,11	438	100	900	142200
1000-1200	90	20,54	528	100	1100	99000
1200- 1317	22	4,29	550	100	1259	27698
Total	550					429442

Tableau 3 : Répartition par tranches d'altitudes de la superficie (Km) du bassin de l'oued Melah

I-3-3-l'altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique, on peut la définir en divisant le volume montagneux (V) par la surface du bassin(S)

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \times H_i}{S}$$

H= altitude moyenne entre deux courbes de niveau(m)

Si= surface partielle comprise entre deux courbes de niveau (km²)

S= surface totale du bassin versant (km²)

I-3-4-relief et courbe hypsométrique du bassin versant :

L'influence du relief sur l'écoulement de surface est chose évident il est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin. Cette dernière est établie en planimètres les surfaces correspondant à la définition de l'ordonnée pour chacune. Les courbes hypsométriques est une caractéristique topographie du bassin versant. Elle exprime la répartition de la surface totale en fonction des altitudes. Les courbes hypsométriques est considère comme une sorte de profil du bassin et sa pente moyenne en m / km².

Elle peut être remplacée par les courbes de fréquence altimétrique qui donne par diagramme en échelon de superficie en km² ou(%) des éléments du bassin comptés entre des différentes altitudes échelons.

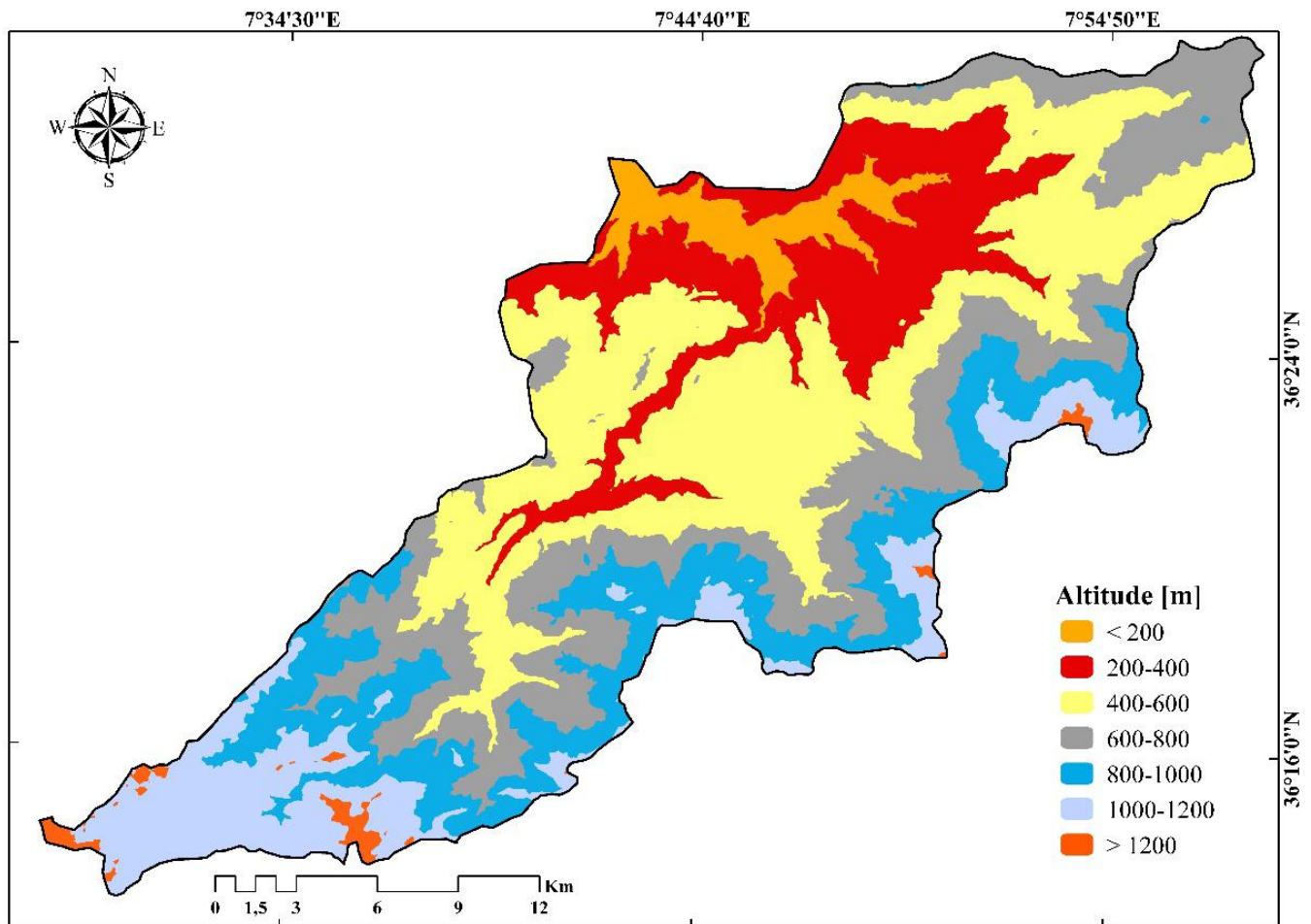


Fig. 05 : Cartes hypsométriques des bassins versants.

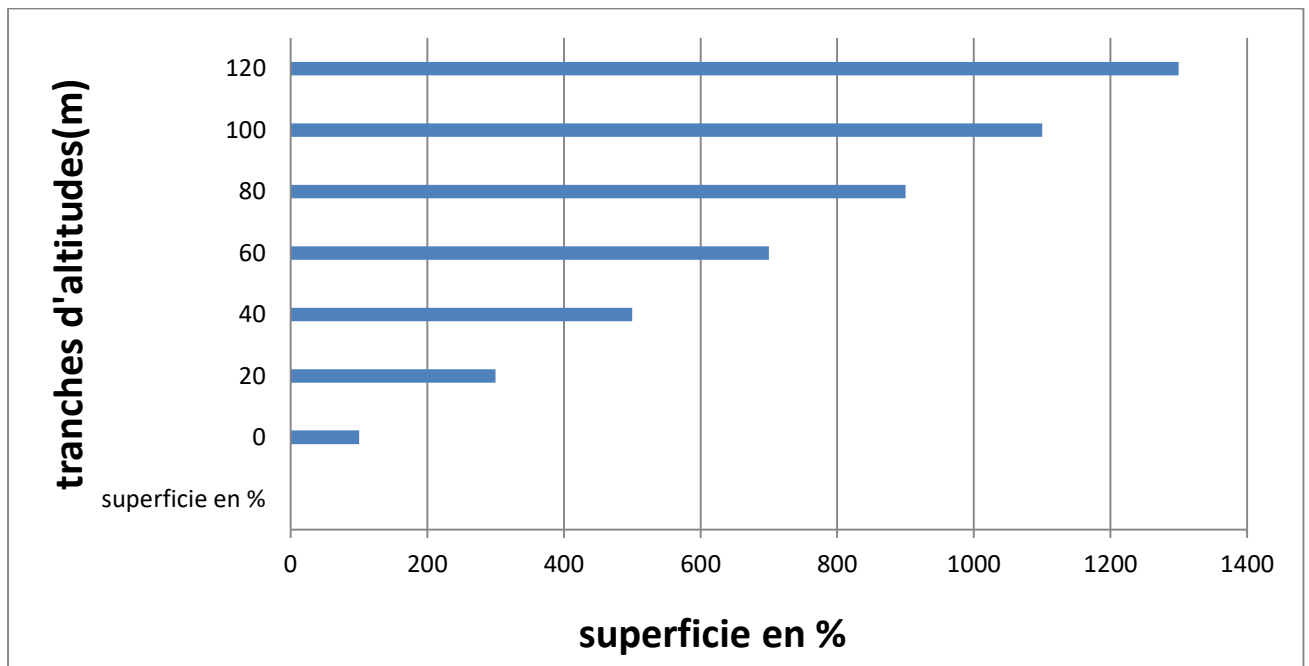


Fig. 06 : Relief et courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Mellah

Tranches d'altitudes(m)	Altitude moyenne(m)	Superficie (km2)	Superficie en %	Superficie Cumulée si Km2	Superficie cumulée en %	Si × Hi
100-300	200	055,75	10,12	055,75	10,12	11150
300-500	400	100,88	18,32	156,63	28,44	62652
500 -700	600	167,38	30,42	334,01	58,86	194406
700 -900	800	105,22	19,11	429,23	77,97	343384
900-1100	1000	082,16	14,92	511,39	92,89	511390
1100-1295	1197,5	039,11	07,11	550,50	100	65922375
		550,50	100			17822057 5

Tableau 4: Répartition altimétrique du bassin versant.

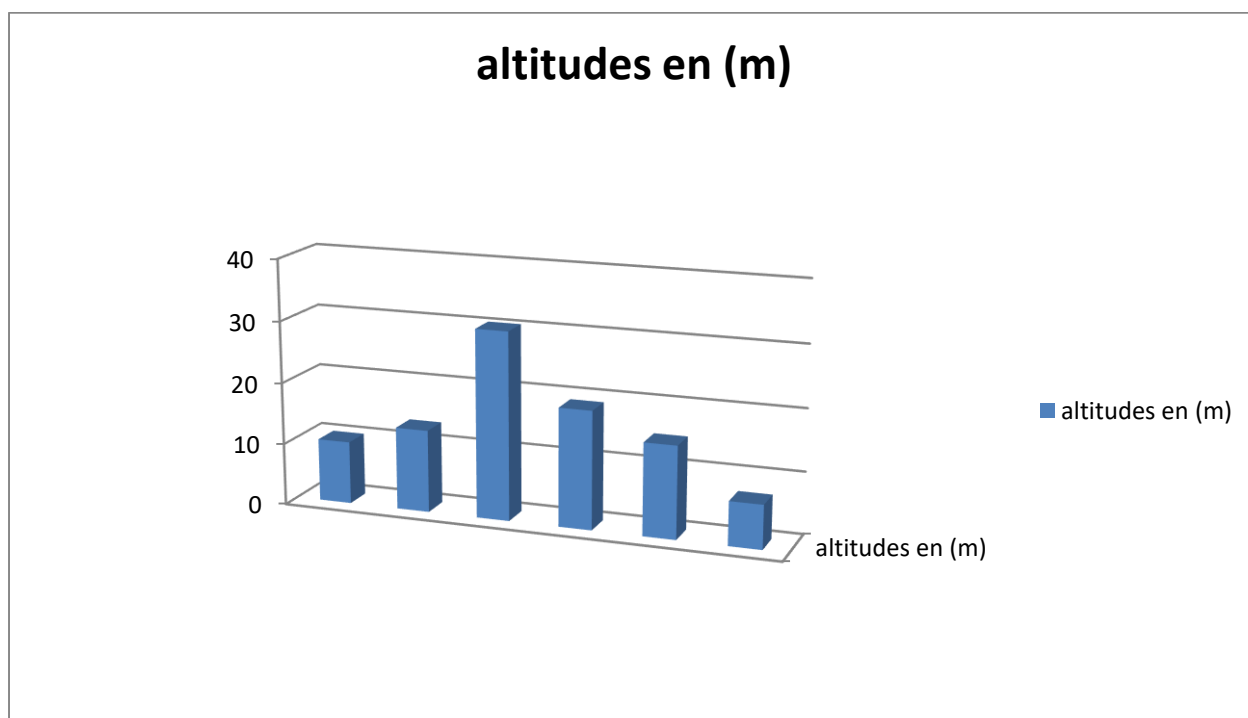


Fig. 07 : Histogramme des fréquences altimétriques

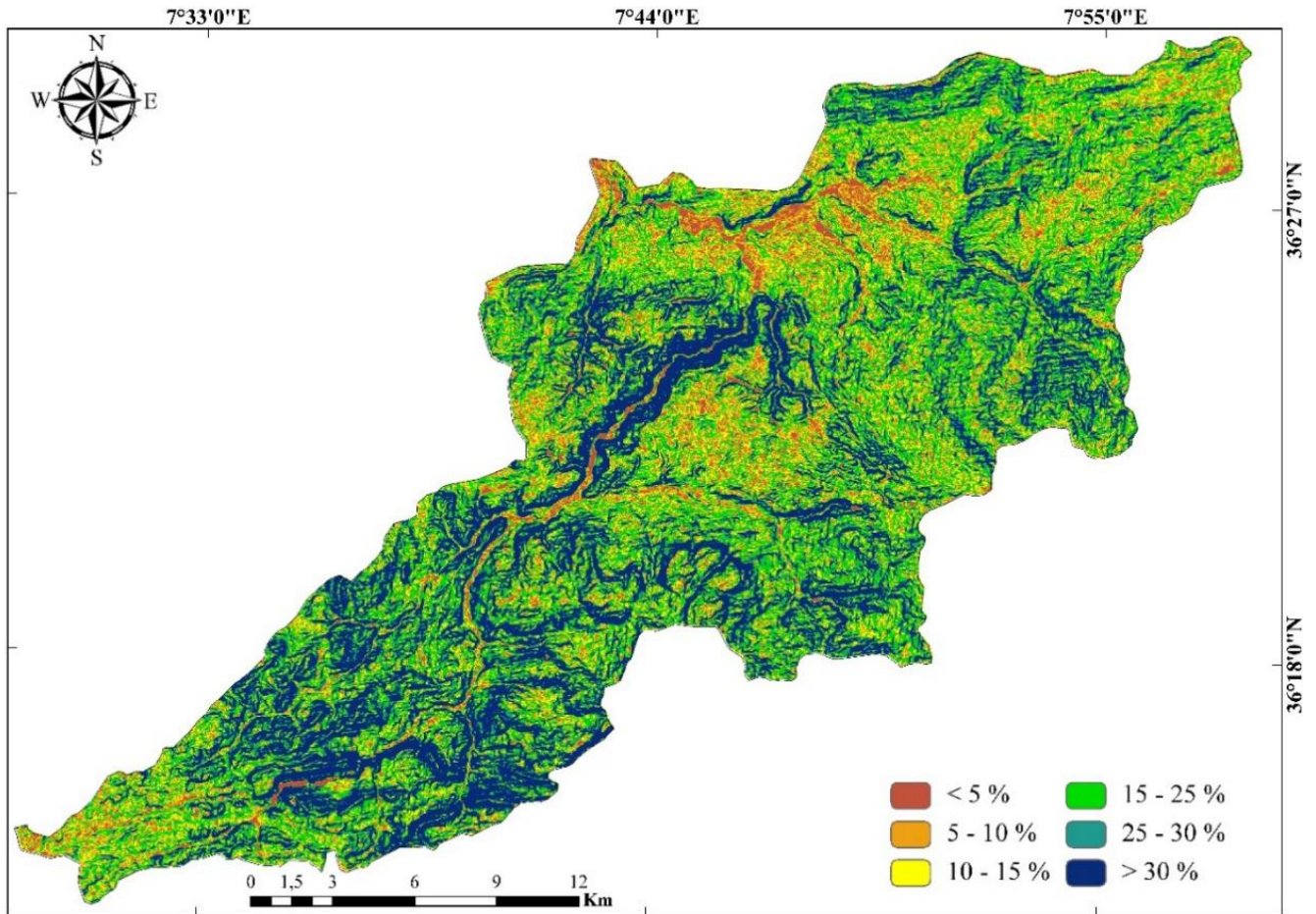


Fig. 08 : carte des pentes de l’oued mellah

I-3-5 : Indices de pentes :

Les indices de pentes se déterminent à partir de la répartition hypsométrique sur le bassin.

Le but de ces indices est caractériser les pentes d’un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

I -3-5-1 : Indice de pente global :

Il est défini comme étant le rapport de la dénivelé simple et de la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = \frac{D}{L}$$

I_g= Indice de pente globale en m/Km

D=Dénivelé simple séparant les altitudes ayant 5 % et 95% de la surface du bassin.

A partir de la courbe hypsométrique (figure I-) on tire

$$H_{5\%} = 1118\text{m}, \quad H_{95\%} = 295\text{m}$$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 823\text{m}$$

L=Longueur du rectangle équivalent en Km

$$I_g = 16,90\text{m/Km}$$

I-3-5-2 Indice de pente moyenne :

$$I_{\text{moy}} = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{L}$$

H max= Altitude maximale du bassin(m)

H min=Altitude minimale du bassin(m)

L= longueur du rectangle équivalent en (m)

$$I_{\text{moy}} = 25,09 \text{ m}$$

I-3-5-3 Dénivelée spécifique :

La dénivelée spécifique ne dépend que l'hypsométrie et de la forme du bassin. Elle est estimée à partir de la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{S}$$

Ds = dénivelée spécifique en m

Ig= Indice de la pente globale en m/Km

$$D_s = 396,34$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), la dénivelée spécifique du bassin d'oued Melah se trouve dans la classe R 6 (Tableau N°5), donc on un relief fort.

Classe	Type de relief	Intervalle de Ds
R1	Relief très faible	05 à 100m
R2	Relief faible	10 à 25 m
R3	Relief assez faible	25 à 50 m
R4	Relief modéré	90 à 100 m
R5	Relief assez fort	100 à 250 m
R6	Relief fort	250 à 500 m
R7	Relief très fort	500 à 750 m

Tableau -5: classification de l'ORSTOM

I-4 Caractéristique Hydrographique :

L'étude de chevelu hymnographique, sert surtout à comparer des bassins entre eux. Le réseau hydrographique peut se caractériser, par trois éléments sa hiérarchisation, son développement (membres et longueurs des cours d'eau) et son profile long.

I-4-1 Densités de Drainage :

Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur cumulée de tous les cours d'eau pour chaque surface de bassin.

$$D_d = \frac{\sum Li}{S}$$

$\sum Li$ = la somme des longueurs des tronçons du réseau hydrographique.

S= surface du bassin versant.

I-4-2 Temps de concentration :

C'est le temps que met une goutte d'eau tombée au point hydrauliquement le plus éloigné pour arriver à la l'exutoire on va utiliser le GIANDOTT I pour déterminer ce paramètre.

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5}{0,8\sqrt{H_{moy}} - \sqrt{H_{min}}}$$

Tc= temps de concentration (heure)

S=superficie du bassin versant, S= 550Km²

Hmoy=altitude moyenne du bassin de thalweg (L=53km)

Hmin= altitude minimale du bassin versant.

Tc= 9h 16min.

I-4-3 Vitesses de Ruissellent :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_r = L_p / T_c$$

Lp=longueur de thalweg principale en Km

Tc=temps de concentration en h

D'où=>Vr= 5,72 Km /h

Paramètre	symbole	valeur	Unité
surface	S	550	Km ²
périmètre	P	120	Km
Indice de compacité	K C	1,43	-
Longueur de rectangle équivalent	L	48,70	Km
Largeur de rectangle équivalent	l	11,23	K m
Altitude maximale	H max	1317	M
Altitude moyenne	H moye	641	M
Altitude minimale	H min	95	M
Altitude médiane	H 50%	680	M
Altitude à 5% de la surface	H 5%	1118	M
Altitude à 95% de la surface	H 95%	295	M
Indice de pente globale	Ig	16,90	m/ km
Indice de pente moyenne	I moye	52,10	%
Indice de pente de roche	I p	0,15	%
La dénivelée spécifique	DS	396,34	m/ km
Chevelu hydrographique	L	441,479	Km
Longueur du cours principal du thalweg	L	53	Km
Densité de drainage	Dd	0,74	[km/ km ²]
Temps de concentration	T c	9h 16'	Heure et min
Vitesse de ruissellement	V t	5,72	Km/ h

Tableau I-6 : les caractéristiques morphologiques de bassin versant de l'oued Melah.

I-3-Relief et le climat :

Le bassin versant de l'oued Melah est grossièrement dominé par un relief accidenté qui a subi des encaissements plus ou moins profonds.les altitudes varient entre 100m et 1295m.

La région de Bouchegouf possède un climat de type méditerranéen, caractérisée par deux saisons bien distinctes une saison sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois d'octobre avec des températures élevés particulièrement en juillet et Aout et une saison humide allant d'octobre jusqu'à Mai.

IV- Hydro climatologie :

I – Introduction :

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et pas conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et circulation des eaux surfaces et souterraines.

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du bassin versant de l'oued Melah, nous essayons d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait, l'analyse des facteurs climatiques s'impose .Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau. L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : Les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement, qui conditionnent ce bilan.

Cette étude climatique disponibles et utilisant la méthode adaptée à la région.

I-1- Caractéristiques hydrologiques :

I-1-1. Le climat :

Joue un rôle capital dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant. En plus des paramètres morphogénique de la connaissance des facteurs hydro climatologiques s'avère indispensable pour mieux comprendre les phénomènes d'écoulement superficiel et par là, le rôle régulateur du bassin versant des divers éléments du bilan hydrologique.

Le bassin versant de l'oued melah soumis à un climat semi aride,(d'après l'indice d'aridité de DEMARTONNE), caractérisé par deux saisons, l'une humide et froide, l'autre sèche et chaude, pour bien préciser les caractéristiques du climat, il est nécessaire, d'étudier les différents facteurs qui le compose, notamment, les précipitations et les températures.

I-1-2- La température :

Les températures ont une grande influence sur l'écoulement ainsi que les données relatives à l'évaporation favorisant le déficit d'écoulement. Manque des nous avons eu recours aux données à la station Bouchegouf.

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	annuel
T° _{Moy}	24	19,7	15,1	12,2	11,6	11,5	13,1	15,5	19,7	23,5	27	27	18,4

Tableau I-7 : Températures moyennes annuelles (station de bouchegouf)

Selon le tableau, on remarque le mois le plus froid est celui de février avec un température moyenne de l'ordre de 11,54 C°, et mois le plus chaud est celui de juillet avec un température moyenne de 27,03 C°.

I-1-3-La précipitations :

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ANNUEL
P(mm)	24,67	40,74	60,37	70,4	67,9 1	59,64	62,24	58,3 7	39,07	15,33	3,43	12, 22	514,39

Tableau I-8 : précipitation moyennes annuelles à la la station Bouchegouf.

(X=949, Y=362,45, Z=351,85 ; Période 75 /76 - 96 /97)

I-2- Le bilan hydrique :

Les rapports est perte ainsi que la connaissance des variations des réserves en l'eau dans la méthode du bilan hydrique s'applique principalement pour établir la relation entre partie , le bilan d'eau est calculé par l'évaluation de l'évapotranspiration. Disposant des C.W.THOURNTHWAITE basée sur la notion de RFU (réservé facilement utilisable).

I-2-1- Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

On appelle l'évapotranspiration réelle (notée ETR) la quantité d'eau exprimé en (mm) évaporée ou transpiré par le sol , les végétaux et les surfaces libre d'un bassin versant .

Formule de TURC :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec : ETR = évapotranspiration réelle en (mm).

P = précipitations annuelle en (mm).

$$L = 300 + 25 t + 0,05 t^3$$

Les valeurs de l'évapotranspiration calculée à partir de la formule de TURC pour le des stations de la formule sont inscrites dans les tableaux .

Station	P (mm)	T° C	ETR
Bouchegouf	514,39	18,32	428,5

Tableau I-9 : résultats de L'ETR obtenus par la formule de TURC

I-2-2- Estimation de l'évapotranspiration potentielle ETP :

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée en partie d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant. Plusieurs formules l'évaluation de l'ETR à partir de différentes mesures climatique.

Formule de C.W Thornthwaite : Proposa une formule basée essentiellement sur température de l'air.

$$Etp = 16 \left(\frac{10 t}{I} \right)^a \times K$$

ETR= évapotranspiration potentielle du maïs considérée en (mm).

T= température moyenne mensuelle du mois considérée en C°.

K=coefficient d'analyse thermique mensuel.

i =indice thermique mensuel.

I= somme des indices mensuels.

I-Méthode du bilan d'eau de C.W Thornthwaite :

Après le calcul de l'évapotranspiration potentielle, le bilan d'eau est établi par la méthode de C.W Thornthwaite au niveau des stations durant une période de 22 ans (75/76 – 96/97).

Cette méthode est basée sur la formule empirique de l'évapotranspiration potentielle mensuelle à partir de laquelle nous pouvons ensuite estimer l'évapotranspiration réelle.

D'après G. Castany (traité pratique des eaux souterraines) la méthode se présente comme suit :

Dans un premier lieu, si la hauteur des pluies mensuelles est égale ou supérieure à l'ETP, cette dernière est égale à l'ETR (pouvoir évaporant).

Si la quantité qui reste est affectée à la réserve facilement utilisable (RFU)

Elle s'ajoute de mois en mois jusqu'à ce que la RFU atteigne la maximum de rétention, il en résulte donc un excédent.

Pour la saturation la quantité maximum d'eau emmagasinée dans la lithologie est de l'épaisseur de la couche superficielle du climat de la nappe ainsi que le type de couvert végétal.

Dans notre cas nous prendrons RFU de 100 mm pour la station de Boucheouffe.

Dans un deuxième cas, la hauteur mensuelle des pluies est inférieure à l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR) dépend de toute RFU jusqu'à l'épuisement.

Si la réserve facilement utilisable (RFU) contient d'eau nécessaire pour satisfaire le déficit.

L'ETR est égal à l'ETP (premier cas), dans le cas réel est liée aux précipitation, la quantité d'eau qu'il faudrait apporter à la plante pour qu'elles ne souffrent pas de sécheresse.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ANN UEL
P (mm)	24,67	40,74	60,37	70,4	67,9 1	59,6 4	62,2 4	58,3 7	39,0 7	15,33	3,43	12,22	514,39
T° c	24	19,7	15,1	12,2	11,6	11,5	13,1	15,5	19,7	23,5	27	27	18,4
i	10,7	8	5,3	3,8	3,6	3,5	4,3	5,5	8	10,4	12,9	12,8	89
K	1,3	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,0 3	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm)	112,2	72,6	38,1	23,7	23,2	22,4	34,6	51	89,2	126,9	168,2	157	917,1
ETR (mm)	24,7	40,7	38,1	23,7	23,2	22,4	34,6	51	89,2	65,2	34	12,2	428,5
RFU (mm)	0	0	22,3	69	100	100	100	100	49,8	0	0	0	
EXC (mm)	0	0	0	0	13,7	37,2	27,7	7,4	0	0	0	0	85,9
DA (mm)	86,5	30,9	0	0	0	0	0	0	0	61,8	164,8	144,8	488,7

Tableau I-10 : bilan d'eau de C.W Thornthwaite de la station de bouchegouf

I-2-3 Interprétation du bilan d'eau de C.W. Thorntwaite pour la station de Bouchegouf :

Le bilan d'eau établi par la méthode de Thornthwaite a montré que l'ETP Son maximum au mois de juillet (168,2mm) et son minimum au mois de février (22,4mm).la reconstitution de la RFU s'effectue au mois d'octobre et atteint son

maximum (100 mm) à partir du mois de janvier Jusqu'au mois d'avril, puis elle commencée a être épuisée, vide complètement au mois de juin.

L'écoulement commence après que te RFU (100mm) soit janvier et se terminer en Avril avec un maximum au mois de février (37,2mm) et un minimum au mois d'Avril (7,4 mm) l'excédent égal à 58,9mm représentant 16,69% des précipitations annuelles, alors que l'ETR est de l'ordre de (428,5mm) présentant 83,30% des : précipitations annuelles.

I-2-4-Estimation du ruissellement :

Le ruissellement dépend de plusieurs facteurs ; nature du sol, pente et végétation, cette dernière a un rôle important dam la diminution du ruissellement. Le coefficient de ruissellement est calculé à partir de la formule de Tixerant- Barkaloff

$$R = P^3/3 \text{ si } P > 600 \text{ mm}$$

$$R = P^3/ 3 \text{ ETP si } < 600 \text{ mm}$$

Les résultats obtenus sont reporté dans le tableau ci-dessous

Station	Boucheouf
P (mm)	514,39
R (mm)	49,46

Tableau I-11 : Estimation de Ruissellement

I-2-5 Estimation de l'infiltration :

Pour déterminer l'infiltration, l (mm) on utilise l'équation du bilan hydrologique qui s'écrit :

$$P=ETR+I+R \rightarrow I=P- R$$

Avec :

P= précipitation annuelle en (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle d'après la formule de Thornthwaite.

I : Infiltration en (mm)

R : Ruissellement en (mm)

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau N °6

Stations	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Bouchegouf	514,39	428,5	49,36	36,53

Tableau I-12 : Estimation de l'infiltration

I-3- Les vents :

Les vents dominants qui soufflent sur la région de Bouchegouf sont ceux du nord. Nord ouest, sud et sud Est, mais les derniers sont les plus dominants.

La période estivale est d'une fréquence du sirocco est assez importante.

I-4-LE COUVERT VAGETAL :

La végétation est la résultante des facteurs physico-géographiques étudiés précédemment : climat, relief, lithologie auxquels s'ajoute le facteur humain (défrichage, mise en cultures et reboisement).

Elle est un facteur restreuteur , si elle est bien maintenue . Cette dernière protège le sol contre l'érosion par son action mécanique du système acinaire. Elle améliore la capacité d'infiltration des eaux dans le sol, diminue le ruissellement superficiel et apporte au sol de la matière organique, soit naturellement dans une agriculture continue. D'autre part, la présence d'une couverture végétale empêche la pluie de tomber directement sur le sol et diminue, par conséquent l'effet de l'érosion pluviale. Le couvert végétal se raréfie di Nord au Sud ou prédominent les montagnes. Deux types de domaines existent dans le bassin versant de l'oued el Melah ; le domaine forestier et le domaine agricole.

I-4-1 le domaine forestier :

Un regroupe tous les terrains occupés par la végétation naturelle, il représente 82,19% de la superficie totale du bassin versant, Ce domaine regroupe trois types de couvert végétal.

I-4-1-1 Le couvert forestier :

Le fort localisée dans les zones de Bourdine au Nord Nord-est, et Ranem au Nord du bassin versant de l'oued et Melah couvrent 25,62% de ta superficie totale de bassin versant et sont parmi les plus importantes des douze forts de la wilaya de Guelma.

I-4-1-2 le maquis :

Les terrains occupés par les formations frutescentes ne dépassant pas en général 3 mètres de haut. Elle se présente généralement en couverture végétale uniforme, l'une dense et l'autre dispersée. Il couvre 16,21% de la superficie globale du bassin versant.

I-4-3 Les terrains de parcours :

Ceux sont des surfaces occupées par une végétation basse et dégradée. Ils se présentent en formation touffues, ne dépassant pas en général un mètre de haut. Ils occupent généralement la partie sommitale des collines et couvrent 40,36% de la superficie totale du bassin versant

I-4-2 Le domaine agricole :

Ce domaine comporte tous les terrains à vocation agricole cultivés ou laissée en Jachère. Il occupe 14,55% de ta superficie totale du bassin versant.

I-4-3 Les terrains non occupés : Ceux sont les terrains urbains attendus sur 3,26% de la superficie totale du bassin versant.

Conclusion de la première partie :

L'oued Melah draine un ensemble de secteur litho logiquement irrégulier. aux facteurs litho logiques, structuraux, tectoniques, et de dynamique fluviale, s'ajoutent les caractéristiques morpho métriques car elles permettent mieux saisir les modalités de l'écoulement.

L'analyse des températures mensuelles et annuelles moyennes ont permis d'esquisser deux saisons thermiques avec de courte période de transition la saison : chaude marquée par l'augmentation générale de la température ; va généralement de juin à septembre, et la saison froide caractérise par les moyennes mensuelles inférieurs à 16°C. S'tend de Novembre à Avril.

La végétation, qui a une influence mécanique certaine sur l'écoulement fluviale.

Le couvert végétal agit directement sur le débit ainsi que sur les eaux souterraines car les plantes favorisent l'infiltration ; donc jouent un rôle dans la recharge des nappes. Autrement dit le couvert végétal est facteur très important qui influence directement sur l'écoulement fluviale.

I-Définition et variables des débits D'Étiage :

Un étiage se définit comme une « baisse périodique des eaux d'un cours d'eau » ou comme « le plus bas niveau des eaux » (LE PETIT ROBERT, 2012). Il s'agit donc des débits observés en période de sécheresse, soit lorsque l'apport en eau de ruissellement est faible ou nul et que seul l'écoulement souterrain alimente les eaux de surface. Au Québec, l'hiver est souvent propice aux étiages importants, puisque les précipitations solides s'accumulent en surface sans atteindre le réseau de drainage ni la nappe d'eau souterraine. Les étiages peuvent aussi être observés en été ou au début de l'automne lorsque les précipitations se font rares pendant des périodes plus ou moins prolongées.

I-1 -Les deux variables les plus demandées sont les suivantes :

- Le débit d'étiage historique. Il s'agit du débit d'une rivière à un moment précis et qui peut être évalué sur une durée de un à plusieurs jours consécutifs. Le débit observé à une date donnée ou plusieurs jours consécutifs est égal à la moyenne du jour voulu et des jours précédents, selon le nombre désiré de jours consécutifs (par exemple, le débit 7 jours consécutifs pour un 4 avril est égal à la moyenne des débits enregistrés du 29 mars au 4 avril inclusivement);
- Le débit d'étiage pour différentes récurrences et pour différentes durées. Il s'agit d'un débit d'étiage et de sa probabilité d'occurrence au cours d'un ou plusieurs jours consécutifs. Dans le but d'uniformiser les variables de débits d'étiage On recense trois variables d'utilisation courante :
 - $Q_{2,7}$: Débit d'étiage de récurrence de 2 ans sur 7 jours consécutifs;
 - $Q_{10,7}$: Débit d'étiage de récurrence de 10 ans sur 7 jours consécutifs;
 - $Q_{5,30}$: Débit d'étiage de récurrence de 5 ans sur 30 jours consécutifs.

I-2-Différentes périodes peuvent être déterminées pour ces variables :

Annuelle : Données considérées entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre de chaque année;

Hivernale : Données considérées entre le 1^{er} décembre et le 31 mai (les dates peuvent varier selon la latitude du site étudié, la période hivernale désignant la période où le cours d'eau est couvert de glace);

Estivale : Données considérées entre le 1^{er} juin et le 30 novembre (les dates peuvent varier selon la latitude du site étudié, la période estivale ou d'été-automne désignant la période où l'écoulement se fait en eaux libres);

Mensuelle : Données considérées pour les différents mois de l'année;

Spécifique : Données liées à des besoins plus spécifiques (du 15 octobre au 15 décembre, par exemple).

I-3-Sens technique:

Débit minimum d'un cours d'eau calculé sur un pas de temps donné en période de basses eaux. Ainsi pour une année donnée on parlera de : débit d'étiage journalier, débit d'étiage de n jours consécutifs, débit d'étiage mensuel - moyenne des débits journaliers du mois d'étiage (QMNA). Pour plusieurs années d'observation, le traitement statistique de séries de débits d'étiage permet de calculer un débit d'étiage fréquentiel. Par exemple, le débit d'étiage mensuel quinquennal (ou QMNA 5) est un débit mensuel qui se produit en moyenne une fois tous les cinq ans. Le QMNA 5 constitue le débit d'étiage de référence pour l'application de la police de l'eau.

I-4- Débit mensuel :

Sens technique :

Débit moyen sur un mois : il est obtenu le plus souvent en additionnant les débits moyens journaliers du mois et en divisant par le nombre de jours du mois.

Caractérisé par la permanence du lit, le caractère naturel du cours d'eau ou son affectation à l'écoulement normal des eaux (par exemple, un canal offrant à la rivière, dans un intérêt collectif, un débouché supplémentaire ou remplaçant le lit naturel) et

une alimentation suffisante, ne se limitant pas à des rejets ou à des eaux de pluies (l'existence d'une source est nécessaire).

I-5-Débit d'étiage de référence :

Débit de référence légal, défini comme le débit mensuel d'étiage de récurrence 5 (ou de fréquence 1/5, c'est-à-dire se produisant une année sur cinq), désigné par le sigle QMNA 5 (fréquence 1/5).

Écoulement ou niveau d'eau le plus faible de l'année, mesuré par la hauteur d'eau ou le débit. Durant une période de basses eaux ou d'étiage, le cours d'eau n'occupe que son lit mineur.

II- Régime d'Écoulement :

Le régime d'écoulement naturel des cours d'eau d'un bassin versant peut subir une influence anthropique. Celle-ci peut être liée, par exemple, à la présence d'ouvrages de retenue gérés, au drainage agricole, à des prélèvements ou à des rejets dans le milieu récepteur.

La caractérisation du degré d'influence anthropique d'un bassin versant se limite principalement à évaluer les effets de la gestion des barrages présents sur le débit d'un cours d'eau, le cas échéant.

Dans une étude hydrologique sur les débits d'étiage, il est important de tenir compte des effets des changements du régime d'écoulement passés ou à venir sur le cours d'eau. Bien que cette précaution soit fondamentale, il arrive que de l'information manque. Certaines études sur les étiages sont donc basées sur des données hydrologiques historiques qui ne représentent plus la réalité et d'autres reposent sur l'hypothèse que des ouvrages présents sur les cours d'eau ont peu d'effet sur le régime d'écoulement, ce qui n'est pas nécessairement le cas.

II-1-On distingue trois types de régimes d'écoulement selon la présence et l'effet des barrages :

- **Naturel** : Mouvement naturel de l'eau dans un cours d'eau. S'il existe des ouvrages de retenue dans le bassin versant, ils sont non gérés (ex. crête

déversante) et leur volume de retenue est tel que l'ouvrage n'est pas réputé influencer l'hydrologie du cours d'eau;

- **Influencé journallement** : Mouvement de l'eau dans un cours d'eau qui subit des modifications en raison de la présence de structures de retenue ou de régularisation de l'écoulement, comme des digues ou des barrages. Des interventions opérées sur la structure de retenue et modifiant l'écoulement peuvent mener à des variations du volume qui sont généralement jugées significatives à l'échelle horaire, mais faibles à l'échelle journalière;
- **Influencé mensuellement** : Mouvement de l'eau dont l'influence anthropique est jugée significative sur les variations du volume aux échelles journalière et mensuelle.

II-2- Données Hydrométriques :

Les données hydrométriques disponibles proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) :

En général, les analyses hydrologiques réalisées tiennent compte des données hydrométriques enregistrées à partir de 1986. Lors d'analyses visant à caractériser le régime hydrologique d'un cours d'eau, le choix de l'historique de données utilisé doit tenir compte des changements qui peuvent avoir eu lieu au fil du temps : utilisation du sol, ouvrages de rétention, climat, etc. L'objectif est de réaliser l'analyse avec les données qui représentent les conditions actuelles d'écoulement et il prime celui d'avoir le plus long historique de données.

III- Analyse fréquentielle des débits d'étiage :

L'analyse fréquentielle des débits d'étiage consiste à ajuster une loi statistique à un échantillon d'observations caractérisant l'étiage dans le but d'estimer une relation entre le débit (Q) de période de retour donnée (T) et la probabilité de non-dépassement qui lui est associée, définie par le rapport $P = 1/T$.

III-1- Les différentes lois les plus utilisées dans le cadre de l'analyse des étiages sont :

- la loi Normale,
- la loi Gamma,
- la loi Pearson,
- la loi Log normale à deux paramètres,
- la loi des Valeurs extrêmes généralisées (Gumbel, Weibull, Fréchet),

III-3- Régionalisation des débits d'étiage Objectifs :

- Définir des régions homogènes en terme de débit d'étiage - Établir dans chacune de ces régions, une relation entre les paramètres physiques du bassin versant et le débit caractéristique d'étiage (de données de débit en tout point pour estimer l'étiage et gérer le cours d'eau)

L'approche permet d'établir plusieurs classes de débits spécifiques qui correspondent soit à un bassin versant, soit à un regroupement de bassins versants appartenant parfois à des districts hydrographiques différents.

3-1- Les paramètres utilisés pour définir les zones homogènes sont :

- L'altitude de la station de mesure,
- Coordonnées Lambert,
- Superficie du bassin versant,
- La pente du bassin versant (Percentile10, médiane, Percentile90),
- Densité de drainage,
- L'occupation du sol (terres arables, territoires artificialisés, forêts, surfaces enherbées, cultures permanentes),
- Données climatiques : précipitations et températures,

- L'évapotranspiration,
- La pédologie (Groupes hydrologiques des sols),
- L'hydrogéologie (percolation et coefficient de tarissement).

IV-Méthodes d'estimation des débits d'Étiage :

1- Site où le régime d'écoulement est naturel ou influencé journallement et sur lequel il existe des données hydrométriques en nombre suffisant ($N \geq 10$ ans) :

Lorsqu'un nombre suffisant de données est disponible, c'est-à-dire au moins dix ans de données journalières, les débits d'étiage sont généralement évalués à partir d'une étude hydrologique dite « classique ». Celle-ci consiste à ajuster une loi statistique aux débits minimaux enregistrés à une station hydrométrique située sur la rivière à l'étude.

Toutefois, préalablement à l'ajustement d'une loi statistique, il faut s'assurer que la série de données confirme les hypothèses de base. Théoriquement, les données qui composent l'échantillon doivent être indépendantes, stationnaires et homogènes pour qu'une loi statistique puisse être retenue.

Ensuite, l'ensemble des lois statistiques généralement utilisées en hydrologie est ajusté pour estimer les débits minimaux de récurrence de 2 ans, de 5 ans et de 10 ans, d'une durée de 7 ou de 30 jours consécutifs ($Q_{2,7}$, $Q_{10,7}$ ou $Q_{5,30}$), selon les périodes désirées (annuelle, estivale, mensuelle, etc.). À la suite de l'analyse des ajustements, basée sur le critère d'adéquation bayésien et sur la représentation graphique, la loi qui décrit le mieux l'échantillon de données est retenue. Pour différentes raisons, une loi autre que celle choisie selon le critère d'adéquation bayésien peut être retenue. Ce pourrait être le cas, par exemple, si deux lois différentes retenues pour représenter les débits d'une certaine durée pour des périodes différentes donnaient des débits

d'étiage illogiques, comme un débit estival plus faible qu'un débit annuel pour une même récurrence.

Ces analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel d'ajustement de lois statistiques Hyfran-Plus (Bobée et collab., 2008). Ce dernier a été mis au point au Centre Eau, Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE). Il permet notamment la vérification des hypothèses de base, en plus de fournir les valeurs du critère bayésien et la représentation graphique des ajustements qui aident à sélectionner la meilleure loi. Ce logiciel est distribué par Water Resources Publications et peut être acheté et téléchargé à partir de son site Web.

2- Site où le régime d'écoulement est naturel ou influencé journallement et sur lequel il existe des données hydrométriques en petit nombre ($N < 10$ ans) :

Lorsque la série des données est trop courte pour qu'on puisse effectuer une étude hydrologique dite « classique », on peut envisager de l'allonger en considérant une ou plusieurs stations hydrométriques qui permettront d'augmenter sa longueur sur une période d'au moins 10 ans.

Plusieurs méthodes de niveaux de complexité différents existent pour effectuer une telle opération, la plus simple étant l'ajustement d'une régression appropriée sur les débits des stations visées. De l'information à ce sujet, et sur d'autres méthodes, peut être trouvée à la section 19.4 du document HANDBOOK OF HYDROLOGY et dans plusieurs autres sources dans la littérature.

L'extension de séries de débit est une méthode peu utilisée. Le professionnel en hydrologie qui désire l'employer doit bien documenter sa méthodologie.

Cependant, il peut arriver qu'aucune station hydrométrique ne permette d'allonger la série de données. Dans ce cas, il faut procéder selon la méthodologie exposée à la section 6.4, en validant par la suite les résultats avec les données disponibles.

3- Site où le régime d'écoulement est naturel ou influencé journallement et dont la station de référence, sur lequel il existe des données hydrométriques en nombre suffisant ($N \geq 10$ ans), est relativement éloignée :

Il est possible de procéder à une estimation des débits d'étiage pour des sites situés en amont ou en aval d'une station hydrométrique, en transposant les débits d'étiage obtenus à la station à l'aide de l'équation suivante

$$Q_{T1} = (A_1/A_2)^a Q_{T2} \quad (5.1)$$

où Q_{T1} : Débit d'étiage de récurrence T au site étudié

Q_{T2} : Débit d'étiage de récurrence T au site jaugé

A_1 et A_2 : Superficies des bassins versants, respectivement au site étudié et au site jaugé

a : Exposant régional.

L'utilisation de cette équation est communément appelée « transfert de bassin versant ». Il est possible de déterminer l'exposant a s'il existe deux stations hydrométriques pour lesquelles des données sont disponibles en nombre suffisant. Des détails additionnels sur la valeur de a peuvent être trouvés dans Anctil et collab. (2005, section 8.6). Par défaut, une valeur de 1 peut être utilisée (WMO, 2008, section 9.2). Il est généralement admis que l'équation (5.1) donne de meilleurs résultats.

4- Site où le régime d'écoulement est naturel ou influencé journallement et sur lequel il n'existe aucune donnée hydrométrique :

La plupart des demandes d'étude sur les débits d'étiage font partie de cette catégorie. L'évaluation des débits d'étiage $Q_{2,7}$, $Q_{10,7}$ et $Q_{5,30}$ peut se faire comme suit :

1. Inventaire des stations hydrométriques voisines ayant un régime naturel ou peu influencé et disposant d'une quantité suffisante de données hydrométriques;

2. Détermination des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants : la superficie du bassin versant, la longueur du cours d'eau, la pente moyenne du cours d'eau, le pourcentage de lacs et de marais, le pourcentage de forêts et les précipitations moyennes annuelles.
La détermination de ces caractéristiques n'est pas obligatoire (sauf la superficie du bassin versant), mais leur connaissance permet de porter un meilleur jugement sur les résultats obtenus;
3. Choix des stations hydrométriques dont le bassin versant présente davantage de similarités avec celui du site étudié;
4. Ajustement, à l'aide d'Hyfran-Plus, des distributions statistiques aux débits d'étiage de 7 de 30 jours consécutifs à chacune des stations retenues;
5. Extraction des débits d'étiage de récurrence de 2 ans, de 5 ans et de 10 ans pour obtenir les débits $Q_{2,7}$, $Q_{10,7}$ et $Q_{5,30}$ à chaque station;
6. Calcul des débits d'étiage $Q_{2,7}$, $Q_{10,7}$ et $Q_{5,30}$ par la transposition des débits au site étudié à l'aide de la technique du transfert de bassin versant (équation 5.1).
Si plusieurs stations hydrométriques ont été choisies à l'étape 3, il faut faire la moyenne des débits d'étiage obtenus pour le site;
7. Évaluation des résultats.

D'autres méthodes similaires présentées dans la littérature peuvent être utilisées, par exemple l'analyse régionale des débits d'étiage de Anctil et collab. (2000).

La prise de mesures du débit en continu au site étudié pendant une dizaine d'années peut éventuellement permettre de préciser les valeurs de débits d'étiage retenues. La prise de mesures ponctuelle ou pendant une période courte peut permettre une comparaison avec l'ordre de grandeur des valeurs retenues. Toutefois, les débits d'étiage sont des valeurs statistiques basées sur de longues séries de données qui ne peuvent pas être remplacées par quelques mesures.

Les besoins en calculs de débits d'étiage concernent souvent les petits bassins versants (dont la superficie est inférieure à 100 km²). Comme la représentativité des stations hydrométriques dans cette classe de superficie est faible, il est difficile de

faire des estimations précises pour de tels bassins. Pour les petits bassins versants, on peut améliorer les estimations en effectuant une prise de mesures en continu pendant une période d'une dizaine d'années sur le cours d'eau étudié. Par la suite, des corrélations peuvent être établies avec des stations hydrométriques existantes.

5- Site où le régime d'écoulement est influencé mensuellement et sur lequel il existe des données hydrométriques en nombre suffisant ($N \geq 10$ ans) :

En général, ces sites sont situés en aval de réservoirs dont la gestion influence sur une base mensuelle ou annuelle le régime d'écoulement du cours d'eau.

Débits classés

Dans la majorité des cas, c'est la caractérisation des débits influencés qui doit être effectuée puisque ces débits représentent la réalité du régime d'écoulement du cours d'eau. Une analyse par classement des débits est généralement utilisée pour déterminer les débits d'étiage qui, dans un tel cas, sont souvent liés directement aux conditions de gestion d'un barrage. Lorsqu'un changement dans les conditions de gestion survient, un nouveau calcul des débits d'étiage s'avère souvent nécessaire puisque ces nouvelles conditions peuvent modifier le régime d'écoulement en période d'étiage.

L'évaluation de débits d'étiage par la méthode des débits classés se fait en classant d'abord les valeurs de débits d'étiage annuels en ordre croissant. On attribue ensuite un rang à chacune de ces valeurs, la première étant au rang 0. Par exemple, si l'échantillon comprend 20 valeurs, les rangs attribués vont de 0 à 19. Par la suite, la probabilité de non-dépassement est calculée pour chaque valeur avec l'équation suivante :

$$P = \frac{i}{n-1} \quad (5.2)$$

où **P** : Probabilité de non-dépassement sur une année, entre 0 et 1

N: Nombre de données dans l'échantillon

I : Rang de la donnée ($i = [0,1 \dots \dots n - 1]$)

La probabilité de non-dépassement étant associée à une période de récurrence (T), par exemple

0,1 = 10 ans, 0,2 = 5 ans et 0,5 = 2 ans, la valeur de débit d'étiage de la récurrence recherchée peut être établie (Hingray et collab., 2009, section 8.2). Si la valeur recherchée se trouve entre deux valeurs, elle peut être déduite par interpolation linéaire.

$$T = \frac{1}{p} \quad (5.3)$$

où T : Période de récurrence

Reconstitution des apports

Pour obtenir des débits d'étiage naturels, il faut d'abord reconstituer les débits d'apports en utilisant les débits à la sortie du réservoir et la variation de l'emmagasinement du réservoir à l'aide de l'équation suivante :

$$Q_e = Q_s + \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (5.4)$$

où **Q_e** : Débit total entrant dans le réservoir en mètres cubes/seconde (m³/s)

Q_s : Débit total sortant du réservoir en mètres cubes/seconde (m³/s)

ΔS : Variation de l'emmagasinement en mètres cubes (m³)

Δt : Intervalle de temps en secondes (s)

6- Site où le régime d'écoulement est influencé mensuellement et sur lequel il n'existe aucune donnée hydrométrique :

L'analyse d'un tel cas peut s'avérer complexe. La connaissance de la façon dont les débits d'étiage sont influencés est nécessaire à leur évaluation. Par exemple, il faut s'informer sur le mode de gestion d'un barrage qui influence les débits dans le secteur étudié et sur les données disponibles.

7- Site où le bassin versant est très petit, moins de 5 km², et sur lequel il n'existe aucune donnée hydrométrique :

La détermination des débits d'étiage des très petits bassins versants est une question complexe, et la littérature scientifique sur le sujet est très limitée. Dans les très petits bassins versants, le régime d'écoulement est particulier car il est influencé par de nombreux paramètres locaux. De plus, l'écoulement est souvent intermittent, c'est-à-dire que le cours d'eau est à sec durant une partie plus ou moins longue de l'année. Dans l'état des connaissances actuelles, on ne peut pas statuer sur le caractère intermittent ou permanent d'un cours d'eau si des données de débits de ce cours d'eau pour une longue période manquent ou si le témoignage de riverains de longue date n'est pas disponible. De plus, il n'est pas possible de déterminer les statistiques de débits d'étiage d'un cours d'eau intermittent sans connaître son débit journalier sur une longue période. Les analyses régionales habituellement employées ne peuvent pas s'appliquer car elles généreraient une erreur considérable et impossible à évaluer. En effet, on possède peu de stations hydrométriques dans de petits bassins versants, et les données qui y sont enregistrées ne sont pas nécessairement transférables à un autre bassin versant.

Historiquement, on considère que l'écoulement dans les bassins versants dont la superficie est inférieure à 5 km² présente un risque élevé d'intermittence. Dans cette situation, le Ministère ne fournit pas de statistiques de débits d'étiage, et tous les quantiles d'étiage fournis ($Q_{2,7}$, $Q_{10,7}$ et $Q_{5,30}$) sont systématiquement fixés à 0 l/s. Si toutefois un consultant fournissait une expertise démontrant que le cours d'eau dont le bassin versant a une superficie inférieure à 5 km² n'est pas intermittent, le Ministère serait disposé à étudier davantage le cas. Pour démontrer la permanence de l'écoulement, une telle expertise devrait comprendre la mesure journalière du débit du cours d'eau pendant une période d'au moins deux ans. Malgré tout, il est entendu que le calcul des débits d'étiage pour de très petits bassins versants comporte un degré d'incertitude élevé, fournissant des ordres de grandeur plutôt que des valeurs précises.

IV-1 Méthodes Retenues :

Deux méthodes ont été retenues pour l'estimation du débit d'étiage de l'Oued Melah Bouchegouf :

1- La régression :

Est un ensemble de méthodes statistiques très utilisées pour analyser la relation d'une variable par rapport à une ou plusieurs autres.

Pendant longtemps, la régression d'une variable aléatoire, sur le vecteur de variables aléatoires désignait la moyenne conditionnelle. Aujourd'hui, le terme de régression désigne tout élément de la distribution conditionnelle, considérée comme une fonction de aléatoire. On peut par exemple s'intéresser à la moyenne conditionnelle, à la médiane conditionnelle, au mode conditionnel, à la variance conditionnelle.

Le terme « régression » a été introduit par Francis Galton à la suite d'une étude sur la taille des descendants de personnes de grande taille, qui diminue de générations en générations vers une taille moyenne (donc leur taille régresse)

En apprentissage automatique, on distingue les problèmes de régression des problèmes de classification. Ainsi, on considère que les problèmes de prédiction d'une variable quantitative sont des problèmes de régression tandis que les problèmes de prédiction d'une variable qualitative sont des problèmes de classification.

Certaines méthodes, comme la régression logistique, sont à la fois des méthodes de régression au sens où il s'agit de prédire la probabilité d'appartenir à chacune des classes et des méthodes de classification.

1-1-Principaux modèles de régression :

Le modèle de régression le plus connu est le modèle de régression linéaire.

Lorsque le modèle n'est pas linéaire, on peut effectuer une régression approchée par des algorithmes itératifs, on parle de régression non linéaire.

Si on s'intéresse au quantile conditionnel de la distribution de la variable aléatoire y sachant le vecteur de variables aléatoires x , on utilise un modèle de régression quantile.

Si la variable expliquée est une variable aléatoire binomiale, il est courant d'utiliser une régression logistique ou un modèle probit.

Si la forme fonctionnelle de la régression est inconnue, on peut utiliser un modèle de régression non paramétrique.

1-2-Analyse de régression :

L'analyse de régression est une méthode statistique de modélisation des relations entre différentes variables (dépendantes et indépendantes). elle est utilisée pour décrire et analyser les relations entre les données. L'analyse de régression permet de réaliser des prédictions, les relations entre les données étant utilisées comme une base pour la prévision et la conception d'un modèle de prédiction. Les analyses de régression et de corrélation sont considérées comme un volet de méthodes analytiques multivariées et sont utilisées dans des domaines très différents, y compris les sciences naturelles, les statistiques, la finance et aujourd'hui aussi le **MARKETING_DIGITAL**, afin d'analyser et de prédire partiellement les coûts et la Rotation Des produits, des campagnes, des chaînes et des méd. Historique

La régression n'est pas un sujet nouveau. Des instruments de mathématiques associées ont déjà été utilisés pour déterminer les orbites planétaires, basé sur des données provenant d'observations astronomiques. La méthode des moindres carrés a été publiée pour la première fois par Carl Friedrich Gauss en 1809, après que Adrien-Marie Legendre et d'autres mathématiciens en aient créé les fondements théoriques. Cette méthode est considérée comme un **précurseur de l'analyse de la**

régression. Les instruments développés se sont initialement vus utilisés dans les domaines de la biologie et de la géologie. Les procédures de régression continuent d'alimenter des recherches importantes, impliquant des scientifiques de domaines très différents.

1-3-Comment fonctionne une analyse de régression :

Une régression est basée sur l'idée qu'une variable dépendante est déterminée par une ou plusieurs variables indépendantes. En supposant qu'il existe une relation de causalité entre les deux variables, la valeur de la variable indépendante affecte la valeur de la variable dépendante. Par exemple, si vous voulez savoir comment vos investissements publicitaires influent sur vos ventes, une analyse de régression serait utilisée pour examiner la relation entre les investissements et les ventes. Si cette relation est clairement représentée, elle peut servir de prévision. Les analyses de régression ont deux objectifs centraux.

Elles sont censées :

- 1) quantifier les relations et les décrire à l'aide des valeurs mesurées et de leur représentation graphique.
- 2) fournir des prévisions et des prédictions.

1-4-Types d'analyses de régression :

Régression simple : seulement une variable explicative est utilisée pour expliquer la variable dépendante.

Régression multiple : plusieurs variables explicatives sont liées à une variable dépendante.

Régression linéaire : il existe une relation linéaire entre plusieurs variables explicatives et plusieurs variables dépendantes. Le concept comprend également des **paramètres linéaires** et une structure.

Régression non-linéaire : s'il n'existe pas de relation linéaire entre les variables dépendantes et indépendantes, vous obtenez une régression non-linéaire. Ces modèles peuvent être très complexes, car les relations entre les

variables ne peuvent pas être organisées et tracées en utilisant des méthodes mathématiques simples.

1-5-Etapes :

- Préparation des données : afin d'étudier les développements et les tendances des variables, la situation des données doit être aussi complète et exacte que possible. Des calculs approximatifs et des vérifications de plausibilité sont effectués pour vérifier les données. Si des enregistrements sont manquants, des techniques de données manquantes peuvent être utilisées, ce qui est également appelé imputation dans le domaine des statistiques. Si les données et leurs relations doivent être affichées graphiquement, cela peut être pris en compte lors de la préparation. Certains modèles de régression nécessitent des formats de données très spéciaux, dans lesquels ils doivent d'abord être convertis. C'est le cas, par exemple, d'une régression linéaire, dans laquelle une relation linéaire entre deux variables est supposée.
- Adaptation du modèle : chaque modèle de régression fonctionne avec des corrections d'erreurs statistiques afin de pouvoir agir avec des possibles déviations. Les fonctions qui réduisent les déviations sont parfois déterminées par le modèle. Ainsi, une fonction linéaire est utilisée dans une régression linéaire pour pouvoir traiter les déviations. Des valeurs d'erreur et des approximations sont calculées et intégrées dans le modèle de régression.
- Validation du modèle utilisé : on examine ensuite si le modèle de régression décrit la relation entre les variables indépendantes et dépendantes et la qualité de cette description. Les statisticiens ont des procédures et des approches différentes pour vérifier la validité de l'analyse de régression utilisée. Par exemple, des noeuds de données particulièrement influents sont analysés, ce qui affecte le contexte des variables. Enfin, une fonction est établie, qui décrit cette relation.
- Préviation des valeurs : si le modèle décrit adéquatement la relation, il peut être utilisé à des fins de prédiction. Encore une fois, la précision joue un rôle plus que

central. Toute inexactitude dans les prévisions est calculée ou estimée. Toute déclaration qui dépasse les ensembles de données réels s'appelle extrapolation.

Les prévisions dans les ensembles de données sont appelés interpolation. Cette dernière est moins problématique que l'extrapolation, même si les hypothèses émises doivent être vérifiées avec attention.

L'élément décisif pour qu'une analyse de régression fonctionne est la mesure dans laquelle le modèle décrit les données réelles et les relations possibles. Le choix du modèle et des variables explicatives est donc déterminant. Seules les corrélations significatives devraient être étudiées. Par conséquent, chaque analyse de régression comprend différentes approches pour augmenter la précision, minimiser les erreurs et exclure des valeurs statistiques anormales qui ne sont pas pertinentes pour l'objet étudié. Pour ces raisons, ces modèles sont souvent comparés à des chiffres clés tels que le coefficient de détermination ou plus généralement le critère d'information.

2- Débits caractéristiques issus de la courbe des débits classés :

La courbe des débits classés (CDC) est une signature hydrologique importante. Elle permet de représenter sur un seul graphique l'ensemble des valeurs pouvant être prise par le débit à un exutoire, de la plus forte en crue à la plus faible en étiage. En outre, elle renseigne sur la fréquence de dépassement associée à chaque valeur de débit. Cette signature est donc très souvent utilisée dans le cadre de la gestion de la ressource en eau, notamment en ingénierie hydroélectrique.

Deux méthodes de construction des courbes de débits classés existent (se référer aux publications de Vogel et Fennessey (1994 ; 1995) pour plus de détails) : une fondée sur l'échantillon entier et une qui permet la construction de courbes annuelles de débits classés à partir desquelles des statistiques peuvent être estimées. La première méthode permet de calculer différentes caractéristiques d'étiage. Elle est plus sensible aux années sèches et humides (Hughes et Smakhtin, 1996) et pour cette raison sera

utilisée par la suite. De la même manière que pour le calcul du QA, les années pour lesquelles le taux de lacune est supérieur à 10% sont écartées pour le calcul de la courbe des débits classés.

Différents débits caractéristiques d'étiage sont déduits de cette courbe DCE : Débit Caractéristique d'Etiage.

Il correspond au débit égal ou non dépassé 10 jours de l'année, soit environ le quantile 97% Q95 : débit classé de quantile 95%, correspondant à un dépassement environ 347 jours par an Q90 : débit classé de quantile 90%, correspondant à un dépassement environ 329 jours par an Q80 : débit classé de quantile 80%, correspondant à un dépassement environ 292 jours par an Q75 : débit classé de quantile 75%, correspondant à un dépassement environ 274 jours par an Q50 : débit classé médian de quantile 50%, correspondant à un dépassement environ 183 jours par an. Il indique la séparation entre les conditions de basses eaux et de hautes eaux de l'écoulement du cours d'eau (Smakhtin, 2001).

V-LE DÉBIT Q347 :

V-1- INTRODUCTION :

Le débit Q347 sert à déterminer le débit résiduel minimal selon l'article 31, alinéa 1, L'eau (Q_{min al 1}). Il faut faire remarquer que la détermination de Q_{min al 1} n'est qu'un premier pas en vue de la fixation de débits résiduels convenables, qui doivent remplir en plus les exigences de l'article 31, alinéa 2 et de l'article 33 LEaux (chapitres 4.4 et 4.6).

L'article 4 L'eau définit le débit Q347 comme le débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé pendant 347 jours par année, dont la moyenne est calculée sur une période de dix ans et qui n'est pas influencé sensiblement par des retenues, des prélèvements ou des apports d'eau. Cette définition implique que le débit Q347 est déduit de mesures. Malgré les denses réseaux de mesures de la Confédération, des cantons ainsi que de tiers, l'expérience quotidienne montre qu'assez souvent

les conditions d'écoulement ne sont pas connues avec précision à l'emplacement où le débit résiduel doit être fixé. La LEaux tient compte de cette situation à l'article 59 : En l'absence de mesures suffisantes pour évaluer le débit d'un cours d'eau, le débit Q347 est déterminé selon d'autres méthodes, telles que l'observation d'événements hydrologiques ou la simulation. Aux termes de l'article 57, alinéa 5, LEaux, les services fédéraux compétents sont habilités à publier des directives techniques.

V-2-Définition du débit Q347 :

A la différence de ce qui se passe avec une crue, un étiage peut être décrit par de nombreux paramètres. Le législateur a choisi le débit Q347, une grandeur devant être établie statistiquement et qui est effectivement publiée de façon standard dans divers annuaires hydrologiques. L'art. 4 LEaux définit le débit Q347 comme «le débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé pendant 347 jours par année, dont la moyenne est calculée sur une période de dix ans et qui n'est pas influencé sensiblement par des retenues, des prélèvements ou des apports d'eau». Cela signifie que le débit Q347 doit être obtenu à partir de mesures, en traçant la courbe des débits classés, appelée aussi courbe ou ligne de durée. Il s'agit en fait d'un polygone des effectifs cumulés [1]. La courbe de durée représente des observations de même poids statistique, classées selon leur grandeur. Le débit Q347 représente donc le débit atteint ou dépassé dans 95% des cas, c'est-à-dire non atteint dans 5% des cas.

V-3-Variabilité temporelle et spatiale :

Les processus produisant le débit sont contrôlés par les caractéristiques climatiques et physiographiques du bassin versant. Etant donné la diversité de ces éléments en, la durée et le niveau des débits d'étiage varient d'une région à l'autre. Pour les bassins de l'Algérie, cette période se concentre sur l'été et l'automne mais, néanmoins, l'étiage peut se produire au cours de n'importe quel mois de l'année, comme le, avec des moyennes sur une longue période, avec les débits moyens journaliers d'une seule année. La raison à cela réside dans les différents processus participant à l'écoulement. Le rayonnement et la température de l'air en tant que facteurs climatiques, la pente, l'exposition et l'altitude comme facteurs physiographiques caractéristiques des bassins, voilà ce qui détermine le niveau et la durée de la période d'étiage. Les réserves se constituent principalement en hiver et au printemps, en fonction des précipitations et de la fonte des neiges. Les étiages se produisent lorsque ces réservoirs se vident, mais ils peuvent être interrompus par des épisodes de précipitations. Les différences entre les bassins versant sont à chercher dans la complexité des caractéristiques hydrogéologiques.

Conditionné par les périodes sèches ou humides, et aussi par les épisodes froids, le débit Q347 est soumis à des variations naturelles, qui se marquent aussi bien dans les séries des valeurs annuelles du débit Q347 que dans celles des moyennes sur dix ans. Dans un bassin, le rapport entre valeurs maximale et minimale du débit Q347 annuel peut atteindre 4 au maximum, pour une longue période. Avec les valeurs moyennes sur dix ans, ce rapport se situe entre 1.3 et 1.5. La méthode de calcul des valeurs moyennes exerce un fort amortissement. Les rapports correspondants pour le Plateau sont significativement plus élevés: pour les valeurs annuelles, ils atteignent une valeur de 10, et une valeur de 2.5 pour les moyennes sur dix ans [1]. La définition même du débit Q347 fait que toutes les années n'interviennent pas dans la même mesure dans la formation de la valeur moyenne de la période.

V-4-CARACTÉRISTIQUES DU DÉBIT Q347 :

Régime d'écoulement :

Bases hydrologiques :

Les processus produisant le débit sont régis par des paramètres climatiques et physiographiques. Le territoire étant très diversifié, le mode d'écoulement varie d'une région à l'autre. L'étendue et la durée des débits d'étiage d'une se distinguent ainsi fondamentalement, et correspondent aux mêmes types de régimes d'écoulement valables pour le domaine des moyennes eaux (Régimes d'écoulements comme base pour l'estimation des valeurs moyennes des débits, Weingartner et al. 1992).

V-5-Processus produisant les débits d'étiage :

Le mode d'écoulement en période d'étiage des régions concernées repose sur différents processus produisant le débit. Les précipitations estivales faibles. Les débits les plus faibles s'observent pendant cette période. L'étendue et la durée de la période d'étiage sont régies par des facteurs climatiques comme le rayonnement et la température de l'air et par des paramètres physiographiques comme la pente, l'exposition et l'altitude. Les réservoirs se remplissent surtout, en fonction des apports d'eau (précipitations ou fonte des neiges), en hiver et au printemps. Les débits d'étiage surviennent lorsque les réservoirs se vident. Les étiages sont interrompus par des épisodes de précipitations.

V-6-DÉTERMINATION DU DÉBIT Q347 :

Généralités :

Le SHGN a publié parmi ses recommandations comment le débit Q347 peut être Déterminé ou estimé dans les bassins versants alpins (Le débit d'étiage Q347 – Détermination et estimation pour les bassins versants alpins de Suisse, Aschwanden

1993). Sur la base des études effectuées depuis 1992 (_ Le débit d'étiage Q347 – Situation actuelle, Aschwanden et al. 1999), des expériences du SHGN et des solutions cantonales (_ Nouvelles du Service hydrologique et géologique national, SHGN 1993), les recommandations de cette époque sont complétées par de nouvelles publications. Il existe ainsi aujourd'hui toute une gamme de procédures applicables selon la situation.

V-7-Régionalisation du débit Q347 :

Malgré la présence de réseaux de mesure d'une densité appréciable, la pratique quotidienne montre toujours et encore qu'à l'endroit précis où est prévue une intervention dans un cours d'eau, ou dans le tronçon où il faudrait fixer des débits résiduels, les débits ne sont pas connus avec précision et qu'il faut les estimer. Au Service hydrologique et géologique national, les premiers travaux sur la question ont montré qu'en raison de leur régime unimodal simple, avec des étiages annuels bien marqués, les bassins du domaine alpin se prêtaient mieux à l'estimation d'étiages que ceux du Plateau, du Jura et des régions basses du sud des Alpes, où en raison des conditions géologiques et climatiques on peut rencontrer des situations plus complexes. Les résultats de cette étude, valables pour l'espace alpin, ont été publiés en 1992, sous forme de recommandations [1]. Quant à la procédure d'estimation elle-même, elle l'a été sous forme d'un logiciel [2]. En raison de quelques lacunes et de l'absence d'une procédure applicable au Plateau et au Jura, la question de l'estimation du débit Q347 dans l'ensemble de la Suisse a été reprise en 1995. Non seulement les réseaux tant fédéraux que cantonaux disposaient alors de nouvelles données, mais l'émergence de systèmes d'informations géographiques a amélioré considérablement la situation sur le plan des paramètres décrivant les caractéristiques des bassins versants. Ces recherches ont débouché sur des procédures d'estimation différenciées selon les régions, permettant de modéliser le Q347 sur la base de caractéristiques climatiques et physiographiques du bassin versant

V-8-Contenu de la carte :

La carte constitue une synthèse de l'information disponible aux stations de mesure et des estimations du Q347 faites en certains points du réseau hydrographique, à l'aide des procédures mises au point. Ces points d'estimation se situent à l'intersection du réseau hydrographique avec les limites des petits bassins versants (bassins de base) de la planche 1.2. Sur la carte sont représentés aussi bien les Q347 aux stations de mesure que les valeurs calculées aux points d'estimation. Afin de prendre en compte la précision des estimations et d'obtenir une image cartographique consistante, on a arrondi les valeurs Q347 calculées en ces points et on les a accordées aux valeurs des stations de mesure disponibles, selon des règles bien définies [3]. Les stations de mesure forment la base de la carte. En ce qui concerne les symboles, toutes les stations pour lesquelles une valeur de Q347 peut être calculée sont signalées comme telles, pour autant que trois années de mesures au moins soient disponibles et que les débits ne soient pas sensiblement influencés. Les stations cantonales font exception, en ce sens qu'elles figurent sur la carte même si elles n'apportent pas encore trois années de mesure mais que leur maintien est assuré. Les stations pour lesquelles une valeur mesurée correspondant à la période standard 1984–1993 peut être représentée constituent l'élément principal de cette carte. Sur la base de certains critères [3], il a été décidé de faire aussi figurer sur la carte les valeurs mesurées à d'autres stations, même si leur période de mesure se situe en dehors de la période standard. Cette période standard de 10 ans 1984–1993 représente un optimum, compte tenu de l'actualité de l'information et du nombre de stations disponibles. Un système de numérotation permet d'identifier tous les emplacements de mesure et les points d'estimation figurant dans la planche. Selon l'art.31, al. 1 LEaux, le débit résiduel minimal a été fixé à une valeur constante à partir d'un Q347 de 60 000 l/s. Pour cette raison, les grands cours d'eau sont indiqués spécialement sur la carte, à partir des emplacements où cette condition est satisfaite.

V-9-Contenu du tableau :

La carte est accompagnée d'un tableau qui reprend les éléments de la carte et les complète, pour autant que cela aide à la compréhension ou soit indispensable pour pouvoir effectuer d'autres estimations. Ce tableau est organisé selon l'ordre hydrographique et suit, pour les subdivisions plus poussées, l'ordre des bassins pour le calcul du bilan (voir carte). A l'intérieur de ces bassins, une numérotation courante des stations de mesure et des points d'estimation assure le lien entre carte et tableau. Pour les stations de mesure, on a déterminé le Q347 de la période standard 1984–1993, lorsqu'elle était disponible, et de toute la période d'exploitation de la station. Ceci permet de placer la période standard dans le contexte d'une période d'exploitation plus étendue. Pour les points d'estimation, une valeur de débit est calculée selon la procédure d'estimation, puis est harmonisée aux stations de mesure. La surface du bassin versant est une donnée utile pour les interpolations. Elle ne manque que là où sa détermination n'est pas possible pour des raisons géologiques ou hydrogéologiques. Des remarques complètent l'information sur les stations et sur les bassins versants.

V-10-Utilisation :

La carte sert entre autres choses de base à la détermination des débits résiduels, en fonction des données disponibles :

- Les débits Q347 déterminés aux stations de mesure et indiqués dans la carte permettent (au besoin après actualisation des séries de mesures utilisées) de fixer les débits résiduels minimaux selon l'art. 31, al. 1 L'eaux.
- Les débits modélisés aux points d'estimation ne représentent qu'une estimation grossière pour l'avant projet. Cette estimation peut être affinée à l'aide d'autres méthodes que les modèles utilisés pour l'élaboration de la carte. On peut par exemple utiliser les données de stations situées en aval ou encore les données provenant de

campagnes de mesures. La méthode la mieux adaptée à une situation particulière sera toujours basée sur des considérations scientifiques, et plus particulièrement hydrologiques

- La précision de débits Q347 obtenus par interpolation dépend des données utilisées (mesures ou valeurs estimées).

Le cas échéant, les valeurs estimées devront être corroborées par des mesures de courte durée, sur au moins trois ans. Une publication de l'OFEPF [4] explique en détail la procédure permettant de déterminer le débit Q347, qui permettra à son tour de fixer des débits résiduels minimaux selon les art. 31–33 L'eaux.

I- Construction de la courbe des débits classés et estimation de Q_{347}

1. Méthode à appliquer : Construction de la courbe des débits classés par la méthode globale sur une courte période pour le Bassin versant Oued Mellah.

La courbe des débits classés représente le nombre de jours (ou le pourcentage du temps) durant lesquels la valeur du débit moyen journalier Q , figurant en ordonnée, a été atteinte ou dépassée. Les débits journaliers observés sur les n années traitées sont classés par ordre décroissant. Pour un débit Q , la fréquence annuelle est donnée par le rapport $(x/n) \times 365$, la grandeur x correspond au nombre de jours pendant les n années où ce débit Q a été dépassé (c.à.d. le rang). De cette courbe il est facile de déterminer le débit Q_{347} (ou Q95%) qui n'est autre que le débit atteint ou dépassé, en moyenne, pendant 347 jours par an (soit 95% du temps).

L'étude du bassin versant de l'oued Mellah basée, dont la surface varie entre 10 et 550 km², montre que la moyenne décennale du débit Q_{347} est bien estimée à partir de mesures sur une durée de 5 ans déjà. Pour le bassin de Mellah pour lequel on dispose de seulement 5 années de mesures et qui respecte les critères d'applicabilité, de manière la plus simple et la plus sûre de calculer le débit Q_{347} , selon cette méthode, est de construire la courbe des débits classés sur cette courte période et d'en extraire la valeur du Q_{347} .

2. Démarche et résultats : On choisit de représenter le nombre de jour durant lesquels la valeur du débit moyen journalier Q en ordonnée a été atteinte ou dépassée (et non le % du temps).

Etape 1 : Nombre de données de débits moyens journaliers. $N= 1825$ (sur 5 années de mesures)

Etape 2 : Classer les données par ordre décroissant et donner un rang r à chaque valeur.

Etape 3 : Calcul de la fréquence annuelle pour chaque débit Q .

$$f_r = \frac{r}{N} \times 365$$

avec

f_r : fréquence annuelle (en nombre de jour),

r : rang,

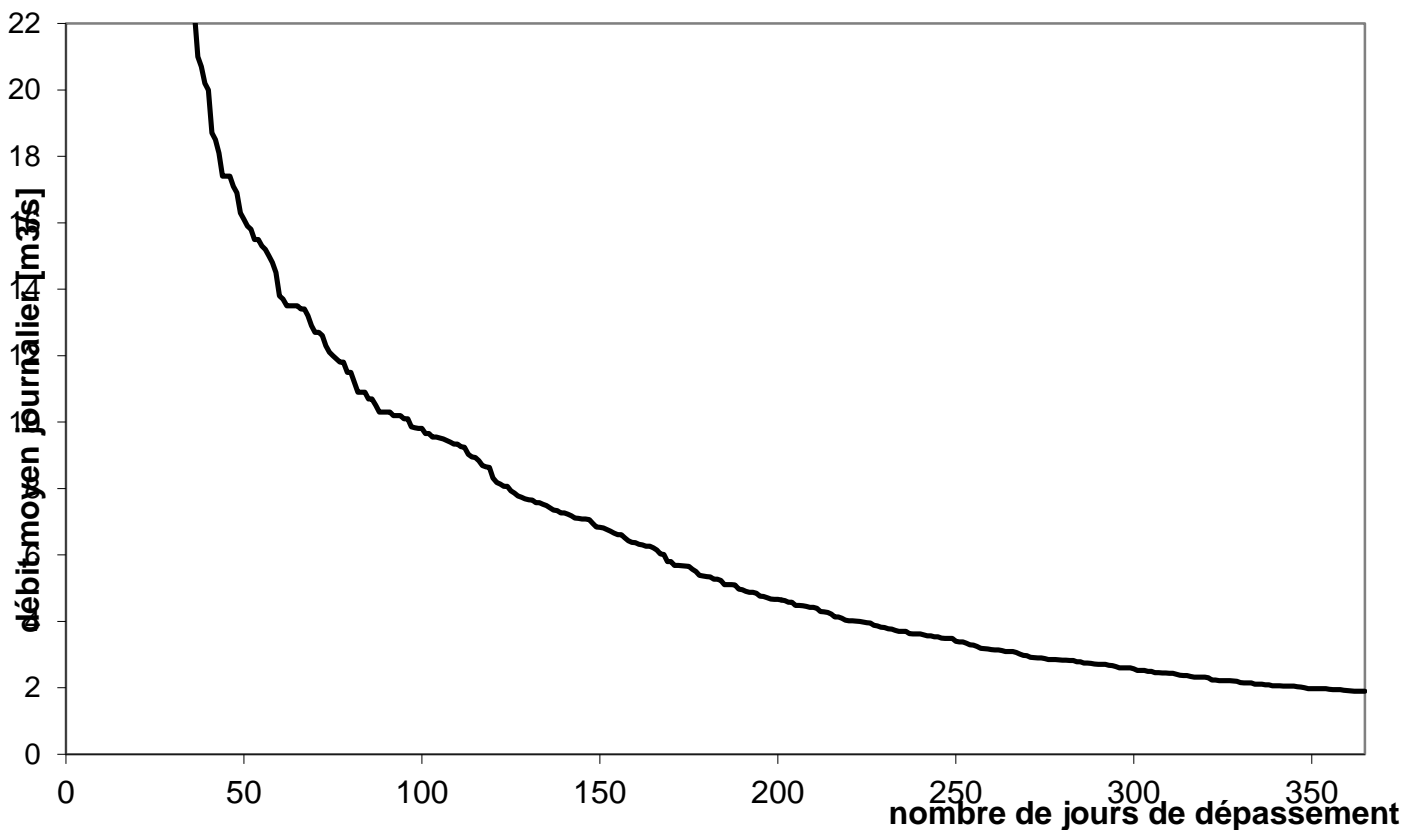
N : Nombre de données de débits moyens journaliers.

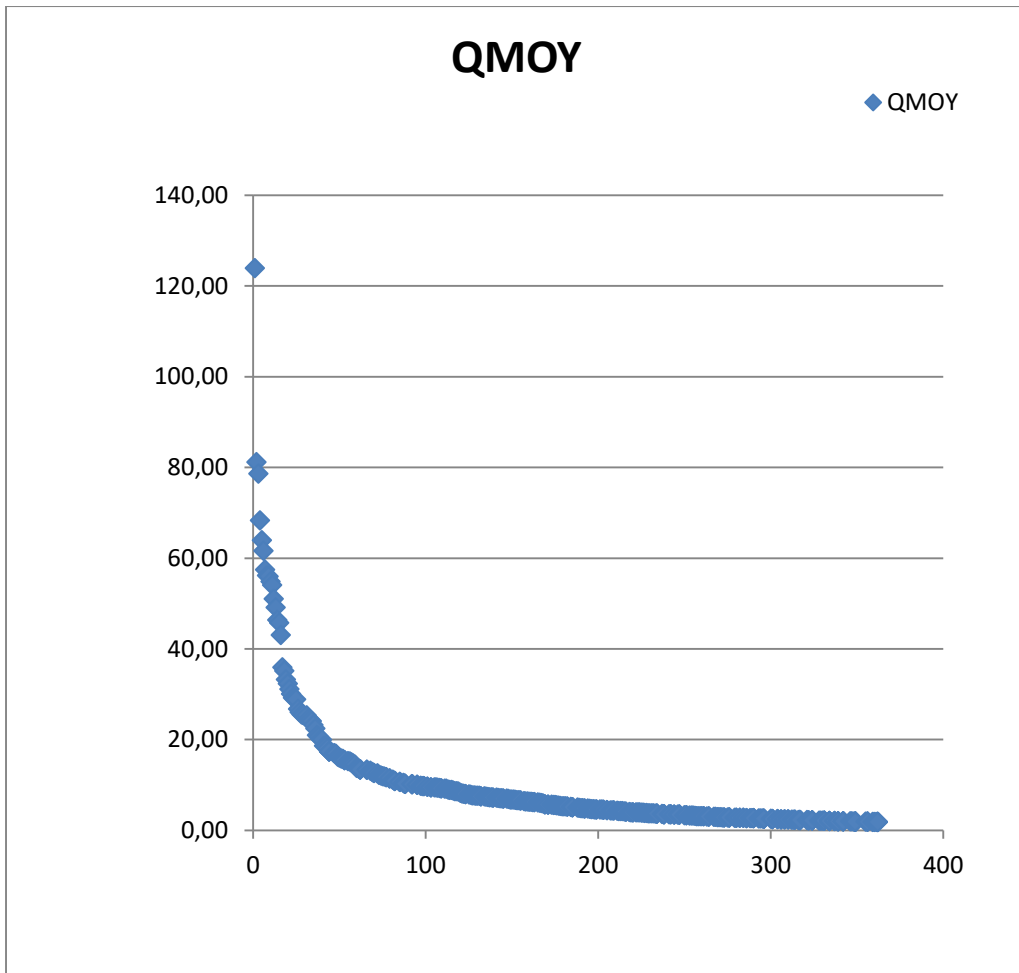
Etape 4 : Représentation graphique de la courbe des débits classés (figure 1).

Etape 5 : Déterminer le débit Q_{347} à partir de la courbe des débits classés de Oued

Mellah. On obtient un Q_{347} moyen d'environ $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figure 1. Courbe des débits classés (méthode globale) et débits caractéristiques d'étiage





II-Estimation de Q_{347} par la méthode des régressions multiples

1-Méthode à appliquer : Méthode de détermination du Q_{347}

Dans partie on utilise une méthode d'estimation du Q_{347} pour le bassins versant de la région de Bouchegouf dont l'altitude moyenne se situe au-dessus de 641 m et dont la surface est comprise entre 10 et 500 km². Pour le bassin versant de l'oued Melleh le débit spécifique q_{347} est donc donné par :

$$6.59562+0.002391*m H +1,0142*I,3=3,8$$

q_{347} : débit spécifique atteint ou dépassé pendant 347 jours par année [l/s/km²] ;

$m H$: altitude moyenne du bassin versant

$M q_{min}$: plus petit débit spécifique mensuel moyen [l/s/km²]

On obtient un Q_{347} moyen d'environ **2,07** m³/s

III-Résultats :

On obtient $q_{347} = 3.8$ l/s/km, soit $Q_{347} = 2.07$ m³/s. On peut constater que la différence est peu importante entre les deux méthodes. Dans la pratique, le choix d'une méthode dépendra des données à disposition et de la précision escomptée

3-Possibilité de prélèvement au mois d'août :

Méthode à appliquer :

Article de la loi (L'eau) sur les valeurs de débits résiduels minimaux à respecter lors de prélèvements.

Un article de la loi sur la protection des eaux en Suisse (L'eau) fournit les valeurs **seuils** de débits résiduels minimaux à respecter lors de prélèvements à partir du débit

Q_{347} (cf. figure 2).

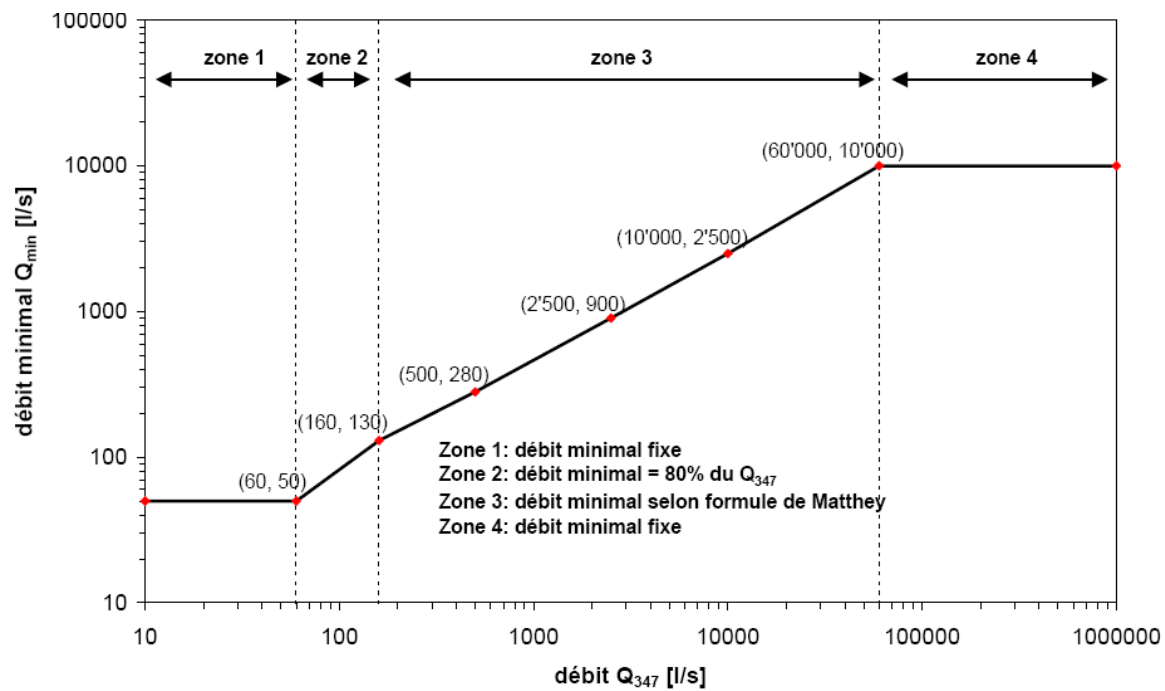
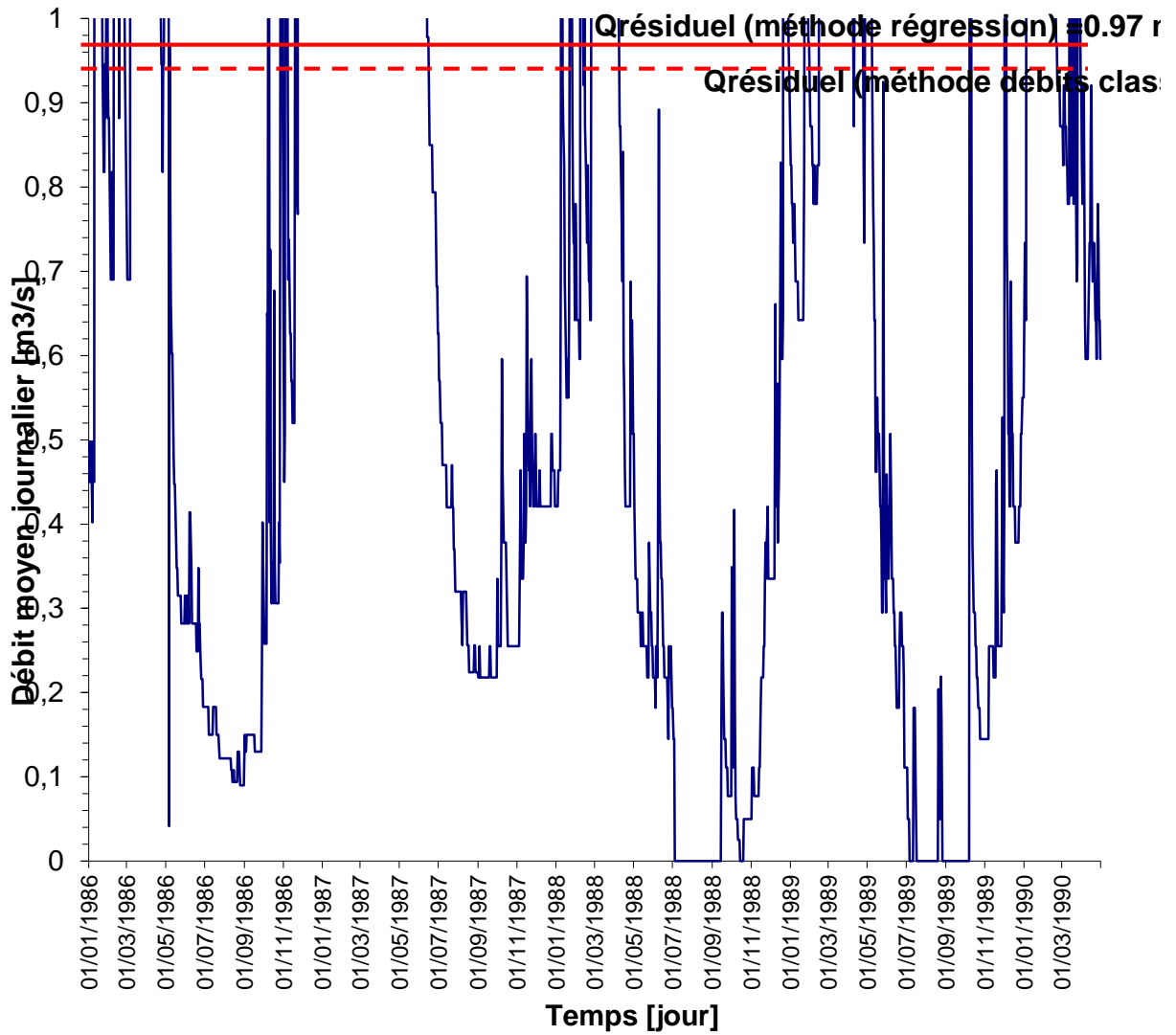


Figure 2 : Définition des valeurs du débit résiduel minimal en fonction du

Q_{347}



Résultats :

La valeur des débits Q_{347} de oued melah ($2.00 \text{ m}^3/\text{s}$ et $2.07 \text{ m}^3/\text{s}$) se situe dans la zone 3 de la figure 2 ; de ce fait le débit minimal à garantir est suivant la méthode considérée de **0.94** m^3/s et de **0.97** m^3/s .

Conclusion :

Au terme de ce travail, mené dans un vaste bassin de Seybouse nous avons essayé de dégager les grands traits du régime de l'oued mellah

Cependant, l'absence de longue séries d'observation n'ont pas rendu possible l'approfondissement de l'étude des phénomènes hydrologique liés essentiellement aux forme de l'écoulement extrême

L'étude géologique, les formations prédominantes sont d'âge quaternaire avec une épaisseur assez limitée. Ceci nous permet de dire que la zone d'étude a une perméabilité moyenne mais l'action de l'érosion reste importante sur la majorité de la surface du bassin surtout sur la zone à forte pente et dépourvue de végétation.

La diversité lithologique offre au bassin versant de melah la particularité d'être un milieu favorisant l'écoulement, d'une part, et l'infiltration d'énormes quantités d'eaux d'autre part, diversité lithologique qui entraine obligatoirement des conséquences sur la stabilité du régime des eaux souterraines

L'estimation du débit d'étiage de l'Oued Melah Bouchegouf par les deux méthodes qui sont appliquée donne des valeurs approximatives 2 et 2,07 la différence entre les méthodes peu importantes

Référence :

1-AGW – Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kt. Zürich 1996: Wiederbelebung von Fliessgewässern im Kanton Zürich. Sonderdruck Nr. 1378 aus gwa 7/96 des Schweiz. Vereins des Gas- und Wasserfaches. Zurich. Disponible à : EPFZ.

2-Ammann, M. 1993: Das durch Wasserkraftnutzung veränderte Abflussregime eines alpinen Fliessgewässers und dessen Auswirkungen auf das Makrobenthos. Dissertation EPFZ Zurich. Disponible à : EPFZ.

3- Q347 – MQ – Ein MS-DOSProgramm zur Berechnung von Mittelwerten des Abflusses und der Abflussmenge Q347. Rapport technique No 1992/2-50 du Service hydrologique et géologique National. Disponible à : SHGN

4- Berne. Renseignements/consultation à l'OFEFP et auprès des cantons.

Becker, M., Schmedtje, U., Lenhart, B. 1992: Restwasserproblematik Obere Isar – Analytische Behandlung und Ergebnisse. Technische Universität Wien. Landschaftswasserbau 13, S. 271-309. Disponible à : EPF

LISTE DE FIGURES:

Figure :I-1: carte N°1 situation géographique du bassin versant de l'oued meleh

Figure: I-2: carte N°2 réseau hydrographique du bassin versant de l'oued meleh

Figure: I-3: carte N°3 géologique du bassin versant de l'oued meleh.

Figure: I-4: types des sols du bassin de l'oued Mellah.

Figure: I-5: Cartes hypsométriques des bassins versants de l'oued Mellah.

Figure:I-6:carte de Relief et courbe hypsométrique du bassin de l'oued Mellah

Figure: I-7: Histogramme des fréquences altimétriques.

Figure: I-8: carte des pentes de l'oued mellah.

Figure :V-9: courbe des débits classés (méthode globale) et débits caractéristique d'étiage .

Figure : V-10 : courbe de la régression.

Figure :V-11 : Définition des valeurs du débit résiduel minimal en fonction du Q_{347} .

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I-1 : surface et périmètre de bassin versant d'oued Melah.

Tableau 1-2 : Coefficients de compacité des bassins versants.

Tableau I-3 : Répartition par tranches d'altitudes de la superficie (Km) du
Bassin de l'oued Melah.

Tableau I-4: Répartition altimétrique du bassin versant.

Tableau I-5: classification de l'ORSTOM.

Tableau I-6: les caractéristiques morphologiques de bassin versant de l'oued
Melah.

Tableau I-7: Températures moyennes annuelles (station de bouchegouf).

Tableau I-8: précipitation moyennes annuelles à la la station Bouchegouf.

Tableau I-9: résultats de L'ETR obtenus par la formule de TURC.

Tableau I-10: bilan d'eau de C.W Thornthwaite de la station de bouchegouf

Tableau I-11: Estimation de Ruissellement.

Tableau I-12 : Estimation de l'infiltration.